

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий (майстерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження металізму утворення
насян в доменній печі та розробка
методів їх запобігання

Виконав: студент II курсу, групи 8.1360-мгл
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія сорисів металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

А.В.Яценко

(ініціали та прізвище)

Керівник зав.кар., к.т.н., доц. Кириченко О.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц., к.т.н. Нестеренко Т.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Металургії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 350 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія чорних металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

[Підпис]
« 25 » серпня 20 21 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

- Ірини Артемівни Вітальківни
(прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема роботи (проекту) Дослідження механізму утворення носіїв в дошкелій металі та розробка методів їх заходження
 - керівник роботи Крижаню О.Г. (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 30 » 06 2021 року № 974-р
 - Строк подання студентом роботи 10.12.2021
 - Вихідні дані до роботи Дослідження умов, насам утворення в умовах дошкелій металів. Визначення впливу цинку та міді на утворення носіїв та інших методів для боротьби з ними. Науково-технічна література, авторські свідоцтва, ДСТУ, ТУ.
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні розробити) Резюме. Вступ. Розділ 1. Розділ 2. Висновки. Дякую за увагу та допомогу.
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Розділ 1, Розділ 2 - 13 креслень

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналітичний опис наслідкувораєня в умовах умової реалізації ідеї.	Кириченко О.Т. зав. кафе., к.ф.н., доц.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
2. Дослідження процесів наслідкувораєня в умовах умової реалізації та методи боротьби з ними.	Кириченко О.Т. зав. кафе., к.ф.н., доц.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ. Реферат	30.06 - 01.09	
2.	Розділ 1	01.09 - 01.10	
3.	Розділ 2	1.10 - 1.11	
4.	Висновки та література	1.11 - 1.12	
5.	Графічна частина, презентація	1.12 - 10.12	

Студент *[Signature]* (підпис) *О.Т. Кириченко* (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *[Signature]* (підпис) *О.Т. Кириченко* (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[Signature]* (підпис) *Р.М. Волос* (ініціали та прізвище)

Реферат

Розрахунково-пояснювальна записка: 79 с., 3 табл., 18 рис., 55 джерел

НАСТИЛІ, ДОМЕННА ПІЧ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, КОКС, ЦИНК, ЛУГИ, ВОГNETРИВКА КЛАДКА, СПОСІБ ЗАВАНТАЖЕННЯ, ШЛАКОУТВОРЕННЯ, ТЕПЛОВИЙ УДАР, ОБВАЛЕННЯ НАСТИЛІВ

Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження механізму утворення настилів в доменній печі та розробка методів їх запобігання.

Мета роботи – дослідити механізми утворення настилів та розробити методи їх запобігання.

У **розділі 1** представлений аналітичний огляд настилеутворення в сучасних умовах доменної плавки; проаналізований вплив цинку на утворення настилів; наведений вплив лугів на роботу доменної печі та методи запобігання утворення настилів.

У **розділі 2** досліджені умови настилеутворення; прихід та накопичення цинку в доменній печі; розглянутий вплив лужних оксидів на стійкість вогнетривкої кладки та технологічні та технічні прийоми видалення цинку з доменної печі; запропонований метод обвалення настилів за допомогою суміщення теплового і механічного удару; досліджений «гвинтовий» спосіб завантаження доменної печі; розглянутий вплив футерівки на процес шлакоутворення; наведені нові процеси виведення цинку з циклу «аглофабрика - доменна піч».

Запропонована технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в доменних цехах України.

АНОТАЦІЯ

Яценко А.В. Дослідження механізму утворення настилів в доменній печі та розробка методів їх запобігання.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Металургія, науковий керівник О.Г.Кириченко. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні, кафедра металургії, 2021.

У роботі ставиться завдання розробити з урахуванням вже наявних технологій механізм утворення настилів та методи їх запобігання.

Представлений аналітичний огляд настилеутворення в сучасних умовах доменної плавки; проаналізований вплив цинку на утворення настилів; наведений вплив лугів на роботу доменної печі та методи запобігання утворення настилів.

Досліджені умови настилеутворення; прихід та накопичення цинку в доменній печі; розглянутий вплив лужних оксидів на стійкість вогнетривкої кладки та технологічні та технічні прийоми видалення цинку з доменної печі; запропонований метод обвалення настилів за допомогою суміщення теплового і механічного удару; досліджений «гвинтовий» спосіб завантаження доменної печі; розглянутий вплив футерівки на процес шлакоутворення; наведені нові процеси виведення цинку з циклу «аглофабрика - доменна піч».

Ключові слова: НАСТИЛІ, ДОМЕННА ПІЧ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, КОКС, ЦИНК, ЛУГИ, ВОГNETРИВКА КЛАДКА, СПОСІБ ЗАВАНТАЖЕННЯ, ШЛАКОУТВОРЕННЯ, ТЕПЛОВИЙ УДАР, ОБВАЛЕННЯ НАСТИЛІВ.

АННОТАЦІЯ

Яценко А.В. Исследование механизма образования настилей в доменной печи и разработка методов их предотвращения.

Квалификационная выпускная работа по получению степени высшего образования магистра по специальности 136 – Металлургия, научный руководитель

А.Г.Кириченко. Запорожский национальный университет. Инженерный учебно-научный институт им. Ю.М.Потебни, кафедра металлургии, 2021.

В работе ставится задача создать на базе уже имеющихся технологий механизм образования настилей и способы их предотвращения.

Представлен аналитический обзор настилеобразования в современных условиях доменной плавки; проанализировано влияние цинка на образование настилей; приведено влияние щелочей на работу доменной печи и методы предотвращения образования настилей.

Исследованы условия настилеобразования; приход и накопление цинка в доменной печи; рассмотрено влияние щелочных окислов на устойчивость огнеупорной кладки и технологические и технические приемы удаления цинка из доменной печи; предложен метод обрушения настилей посредством совмещения теплового и механического удара; исследован «винтовой» способ загрузки доменной печи; рассмотрено влияние футеровки на процесс шлакообразования; приведены новые процессы выведения цинка из цикла «аглофабрика – доменная печь».

Ключевые слова: НАСТЫЛИ, ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, КОКС, ЦИНК, ЩЕЛОЧИ, ОГНЕУПОРНАЯ КЛАДКА, СПОСОБ ЗАГРУЗКИ, ШЛАКООБРАЗОВАНИЕ, ТЕПЛОВЫЙ УДАР, ОБВАЛЕНИЕ НАСТИЛЕЙ.

ANNOTATION

Yatsenko A.V. Investigation of the mechanism of decking in a blast furnace and the development of methods for their prevention.

Qualifying final work on obtaining a master's degree in specialty 136 - Metallurgy, scientific supervisor A.G. Kirichenko. Zaporizhzhya National University. Engineering Educational and Scientific Institute named Y.M. Potebni, Department of Metallurgy, 2021.

The task is to create, on the basis of existing technologies, a mechanism for the formation of decking and ways to prevent them.

An analytical review of flooring in modern conditions of blast-furnace smelting is presented; analyzed the effect of zinc on the formation of decking; the influence of alkalis

on the operation of the blast furnace and methods of preventing the formation of decks are given.

The conditions of flooring have been investigated; the arrival and accumulation of zinc in the blast furnace; the influence of alkali oxides on the stability of refractory masonry and technological and technical methods of removing zinc from a blast furnace are considered; a method of flooring collapse by combining thermal and mechanical shock is proposed; investigated the "screw" method of charging the blast furnace; the influence of lining on the process of slagging is considered; new processes of zinc removal from the cycle "sinter plant - blast furnace" are presented.

Key words: SOURCES, BLAST-FURNACE OVEN, NATURAL GAS, COKE, ZINC, ALKALI, REFRACTORY MASONRY, METHOD OF LOADING, PROCESSING, HEAT SHOCK, DEPOSITING.

ЗМІСТ

Загальна характеристика роботи	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАСТИЛЄУТВОРЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ	12
1.1. Умови настилєутворення	13
1.2. Вплив цинку на утворення настилів в доменній печі	22
1.3 Вплив лугів на роботу доменної печі	28
1.4. Способи видалення настилів	31
1.5. Методи запобігання утворення настилів	34
1.6. Напрямок наукових досліджень з вивчення умов настилєутворення	34
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАСТИЛЄУТВОРЕННЯ В УМОВАХ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ З НИМИ	36
2.1. Дослідження умов настилєутворення	36
2.2. Прихід цинку в доменні печі	38
2.3. Накопичення цинку в доменній печі	39
2.4. Вплив лужних оксидів на стійкість вогнетривкої кладки	49
2.5. Технологічні та технічні прийоми видалення цинку з доменної печі	53
2.6. Метод обвалення настилів за допомогою суміщення теплового і механічного удару	55
2.7. Дослідження «гвинтового» способу завантаження доменної печі	60
2.8 Вплив футерівки на процес шлакоутворення	64
2.9 Нові процеси виведення цинку з циклу «аглофабрика - доменна піч»	68
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

Загальна характеристика роботи

Актуальність проблеми. Підвищення ефективності доменного виробництва при найменших витратах сировини та енергоресурсів - основний напрямок галузі в ХХІ ст. Вирішення цих завдань вимагає покращення існуючої технології доменної плавки та інтенсифікації доменного виробництва.

Порушення ходу доменних печей внаслідок наявності настилей обумовлює різке погіршення техніко-економічних показників плавки. При цьому відбувається помітне зростання витрат коксу, різке зниження продуктивності печі, погіршення якості виплавленого чавуну.

Проблема цинку в доменному виробництві виникла відразу ж, як тільки в металургійний переділ стало залучатися цинквмісна залізородна сировина. З його шкідливим впливом зіткнулися при розширенні бази чорної металургії практично всі промислово розвинені країни, в тому числі й Україна.

У доменній печі цинк утворює настилі на стінках шахти, колошника і газовідводів, спотворюючи профіль простору, в результаті чого порушується симетричність сходу шихти, розподілу газового потоку, протікання відновно-теплових процесів, формування розплавів в зоні когезії. Наслідком цього є деформація теплових і концентраційних полів у об'ємі печі, форма зон тепломасообмінних процесів відхиляється від форми тіла обертання, порушується хімічна та тепла робота горна, його дренаж погіршується, якість чавуну стає нестабільною.

З причини недостатньої вивченості питання утворення настилів, виникла необхідність вивчення факторів, що сприяють утворенню настилів в сучасних шихтових умовах.

Мета роботи – дослідження механізму утворення настилів в доменній печі та розробка методів їх запобігання. За допомогою виконаних досліджень довести технічні показники і необхідність зміни технології доменної плавки, що гарантує стабільність технологічного процесу виробництва чавуну.

Завдання роботи – на основі фізико-хімічних досліджень, використання останніх досягнень металургійної науки, розробити технологічні передумови боро-

тьби з утворенням настилів в доменній печі. Це дозволить в значній мірі покращити хід процесу та, в значній мірі, прогнозувати кінцевий хімічний склад чавуну.

Дана задача буде вирішуватися за рахунок сучасних засобів та методів аналізу та експериментальних підходів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити такі **завдання:**

1. дослідити прихід, накопичення та технологічні та технічні прийоми видалення цинку з доменної печі;
2. дослідити метод обвалення настилів за допомогою суміщення теплового і механічного удару;
3. дослідити «гвинтовий» спосіб завантаження доменної печі.

Об'єкт дослідження – технологічні умови утворення настилів в доменній печі.

Предмет дослідження: закономірності і механізми фізико-хімічних процесів утворення настилів в доменній печі.

Методи досліджень: хімічний аналізи, мікроскопічний аналіз, фізичне моделювання процесів.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що відновний газ вдувається безпосередньо в область протікання процесів непрямого відновлення; в нижчерозташованій частині печі, в більшості випадків найбільш напруженою в газодинамічному відношенні, кількість газів не зростає (навіть дещо скорочується завдяки зниженню відносної витрати коксу), що дозволяє підвищити продуктивність;

2. Доведено, що фізичне тепло гарячого відновного газу також вноситься безпосередньо в ту область печі, в якій при низькій витраті коксу і високій концентрації кисню в дутті, температури шихти і газу надмірно знижуються.

Практичне значення:

1. Визначено, що для оцінки показників роботи доменної печі при вдуванні гарячого відновного газу для умов доменної печі комбінату "Запоріжсталь" виконані

розрахунки за методикою, використовуваної проектними організаціями СНД в якості базової.

2. Аналіз результатів розрахунків свідчить, що найбільшу ефективність від вдування продуктів конверсії природного газу можна отримати при вдуванні гарячого відновного газу в горн печі при оптимальному підборі параметрів комбінованого дуття (витрата природного газу - $200 \text{ м}^3/\text{т}$, температура дуття - $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ і вміст кисню в дутті 25%).

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну магістерську роботу, доповіли на: I Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України. (Запоріжжя, 2021); XIV університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2021» (Запоріжжя, 2021); наукових семінарах кафедри металургії Запорізького національного університету.

Публікації

Основні результати роботи викладені в 2-х тезах конференцій.

Структура и об'єм роботи

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 55 найменувань, викладена на 79 сторінках машинописного тексту включаючи 18 рисунків, 3 таблиці.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАСТИЛЄУТВОРЕННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Доменна піч – один із унікальних агрегатів, який людство використовує вже протягом кількох століть. Важко назвати інший технічний пристрій, який дорівнював би доменній печі за комплексом характеристик: безперервність роботи протягом декількох років, закритість процесу, високі температури в робочому просторі і найскладніша за хімічним складом сировина, що проплавляється.

Перехід від природних шихтових матеріалів до підготовлених змінів співвідношення корисних та баластових компонентів як у залізородній, так і паливній частині шихти, але якісно хімічний склад шихти практично не змінився.

При вичерпанні «чистих» за вмістом залізородних матеріалів, в металургійний переділ стали залучати руди, що містять не тільки «зайві» для доменного процесу компоненти, але й шкідливі, особливо для стану самої доменної печі. До таких елементів металургії належать і луги.

Присутня в шихті в незначній кількості, вони відрізняються здатністю накопичуватися у футеруванні печі, в стовпі матеріалів і утворювати маси, що циркулюють, в кількості до десятків тонн. Луги містяться практично у всіх матеріалах доменної шихти. До агломерату вони надходять як у первинному стані зі свіжими рудними матеріалами, так і у вторинному з оборотними продуктами – з поверненням, колошниковим пилом, шламами газоочисток та іншими добавками. У коксі луги є компонентом золи.

На вимушене підтримання циркуляції, що характеризується циклічною зміною агрегатного стану лугів, переходом від складних сполук до елементарного виду, непродуктивно витрачається паливо.

Незважаючи на численні публікації про вплив лужних сполук на доменний процес, досі не склалося єдиної думки щодо цієї проблеми. Одні відзначають значне покращення фізичних властивостей шлаків при введенні в шихту доменних печей додаткової кількості оксидів лужних металів. Більшість же вважають, що луги сприяють зниженню терміну служби вогнетривкої футеровки особливо в нижній ча-

стині доменної печі, утворенню настилів, що призводить до зміни профілю печі, порушення рівномірності розподілу шихти та газового потоку в робочому просторі. Внаслідок цих впливів помітно підвищуються енерговитрати на виробництво чавуну та скорочується міжремонтний період роботи доменних печей.

Саме це зумовлює унікальність проблеми присутності лугів у матеріалах доменної плавки. На інших стадіях металургійного циклу цієї проблеми немає.

1.1. Умови настилеутворення

Складність узагальнення умов настилеутворення обумовлюється тим, що кожен випадок зародження настилей в доменних печах визначається суто конкретними факторами як технологічними, так і конструктивними. У технічній літературі освітлено чимало таких випадків, зроблена спроба з'ясувати причини утворення настилу, вивчені умови, що сприяють їх подальшому зростанню.

Ще в 1938 р Д.Р. Рігбі [1] запропонував механізм утворення настилів на основі дії лужних парів на шамотну цеглу, які при 900...1000° С руйнують поверхню цегли з утворенням в'язкого шлаку. У міру зростання концентрації лугів температура плавлення шлаку піднімається, і він застигає, утворюючи настилі на поверхні цегли (чистий лужний алюмосилікат має високу температуру плавлення). Накопичення лужних мінералів в печі відбувається внаслідок конденсації лужних парів в холодних шарах шихти, причому порівняно високий вміст лугів в печі можна пояснити тільки їх накопиченням з шихтових матеріалів.

У дослідженні [2] було встановлено, що настилі можуть бути розділені на два типи: 1) щільні, міцні, невеликої товщини, які міцно пристали до кладки печі; 2) пухкі, конгломератні, великої товщини (500...2000 мм) мають щільну зовнішню кірку близько 100...150 мм завтовшки. Настилі першого типу розташовуються переважно у верхній і нижній частині шахти, другого - в середній її частині.

Настилі Макіївського заводу в основному склалися з залозистого моноліту з включеннями руди, коксу, флюсу. Вміст металевого заліза в ній досягало 85...90% [3].

На відміну від неї настилі Ново-Тулського заводу були двошаровими: перший - складався з щільного оплавленого матеріалу і стикався з кладкою. Другий, звернений усередину печі являв собою конгломерат, в якому знаходилася багато коксу. Настилі заводів ім. Петровського, ДМК, Арселор-Міттал-Кривий Ріг, ДЗМО, не містили значної кількості CaO і FeO , але вміст Na_2O в них знаходилася в межах від 4,96 до 15,21 %. Основними причинами утворення настилів Остроухов М.Я. вважав: 1) дуже висока температура газів у верхній частині шахти, що є причиною утворення залізистих шлаків; 2) значне підвищення температури у периферії, нерівний хід доменної печі. У той же час заперечується вплив лужних сполук на утворення настилів.

В роботі [4] при дослідженні настилів комбінату «Запоріжсталь» автори класифікують утворення настилів за трьома групами: 1) односторонні, коли вони обмежені незначною по окружності ділянкою; 2) верхні, розташовані лише у верхній частині шахти; 3) кільцеві, розташовані по великій поверхні шахти і розпару по всьому колу печі або значної її частини.

Умовою утворення верхніх настилів, як відзначали автори, була робота на порошкових рудах, змочених водою, і при сильно розвиненому периферійному потоці.

Наголошується, що основними складовими настилів були вапно, руда, шлак, метал, дрібний кокс і коксовий сміття. Зустрічалися також шматки залізної стружки. Кількість кускового вапна досягала за обсягом 40 %.

Переважна маса настилів була нетривкою і у верхніх і середніх горизонтах печі піддавалася розмиванню водою. Будова настилів була різною. У верхніх частинах в поперечному перерізі воно являло собою кілька концентрично розташованих шарів, обмежених по межах напіврозплавленою «кіркою». У середній частині настилів була більш оплавленою, ніж у верхній і більш щільною. Нижня частина настилу була повністю оплавленою і являла собою конгломерат.

Основними причинами утворення настилів автори вважали: 1) різке погіршення якості шихтових матеріалів; 2) недоліки профілю і конструкції шахти; 3) порушення технології доменної плавки.

У роботі [5] описані настилі, що утворилися на Донецькому металургійному заводі. Автори вважають, що основними причинами утворення настилів в нижній і середній частинах шахти є: 1) непостійність зони тістоподібного стану матеріалів по висоті печі, а також мінливість фізико-хімічних властивостей матеріалів; 2) наявність легкоплавких і легковозгоняємих сполук або елементів в шихті; 3) нераціональний профіль печі; 4) розпал і надмірне охолодження вогнетривкої кладки печі.

Авторами описана настиль, що утворилася на одній з доменних печей, і дано аналіз причин її утворення. Настиль була рихлою і при незначному поливанні її водою обрушилася. Цементуючий матеріал настилу складався в основному з: SiO_2 до 41 %; CaO – 19 %; Al_2O_3 - 7,4 %; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ - 25%; MgO - 1%; FeO - 7%. Утворенню настилу передувала робота печі на шлаках з основністю $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,5 \dots 1,6$. При вмісті глинозему 7...8 %. Кокс в цей період містив велику кількість фракції менше 25 мм.

Аналогічну будову настилів мали печі Кузнецького металургійного комбінату. У той же час описаний випадок утворення настилу при рівному ході печі і при відсутності інших обставин, що призводять до настилеутворення. Зроблено висновок, що рівний хід доменних печей, якій забезпечує раціональну технологію, ще не вирішує питання попередження утворення настилів. Іншим важливим чинником вважається наявність рівня надмірно високих температур в шахті, легкоплавкість шлаків, нерівномірний розподіл матеріалів на колошнику, низька якість коксу [6].

В роботі [3] описані настилі, що відрізняються від раніше описаних, вони представляли в основному міцний конгломерат спеченої і оплавленої руди з включеннями окремих шматків коксу і вапняку. Місцями, частіше близько кладки, настилі були шаруватими. Одні шари містили лугу (5,1...8,75 %), інші - ні. Нижня частина їх, боки і настилі, звернені всередину печі, містили велику кількість відновленого заліза у вигляді губки, порожнечі якої заповнені ошлакованою порожньою породою. Шарувата гарнісажна настиль представляла собою основний залізистий шлак, конгломерат. Гарнісаж містив лугів 20,5...24,8 % (у перерахунку на Na_2O). Серед факторів, що сприяють утворенню настилів, автори виділяють: 1) наявність вузьких мас біля стін печі при зупинках і підстоях шихти; 2) недоліки профілю. У той

же час відзначається, що немає підстав вважати вплив системи охолодження на утворення настилу.

Аналізуючи раніше проведені дослідження можна відзначити такі недоліки:

1. При вивченні настилів не у всіх дослідженнях вивчалися фізичні властивості шихтових матеріалів;
2. У дослідженнях абсолютно не приділено уваги термографічному аналізу;
3. У всіх дослідженнях значна увага приділялася основності шлаку, але не враховувалися такі властивості, як температура плавлення і в'язкість.

Однак, можна виділити загальні закономірності характерні для умов роботи доменних печей середини 20 століття і описаних в літературі:

1. Розвиток високих температур у верхній частині шахти, що тягло за собою утворення залізистих шлаків, значне зниження температури периферії;
2. Різке погіршення якості шихтових матеріалів і коксу;
3. Недоліки профілю доменних печей;
4. Руйнування футеровки шахти;
5. Більшість описаних настилів мають шарувату будову, нижнім шаром яких була міцна маса оплавлених і відновлених матеріалів.

Підвищення якості шихтових матеріалів, рівня технології доменного виробництва, його інтенсифікація не зняли з порядку денного питання про утворення настилів.

У роботі [7] значний вплив приділено наступним факторам:

1. Відновлення оксидів заліза за рахунок окису вуглецю починається у верхніх горизонтах з твердих шматків, в більш низьких областях - з силікатів заліза, марганцю, кальцію, утворюючи залізисті шлаки. Цей процес може ускладнюватися опалюванням шматків матеріалів і оточення їх силікатами заліза, які вимагають для відновлення значної кількості тепла.

2. Робота печі обривами.
3. Підвищена розчинність шамотної кладки в кислих залізистих шлаках.
4. Перевантаження периферії, особливо в умовах поганого гранулометричного складу шихти.

Матеріал настилу являє собою конгломерат значною мірою відновлених і спечених в моноліт частинок агломерату, руди з дріб'язком коксу та вапна. Це підтверджує поступове утворення настилів в умовах роботи печі з підвищеною основністю. Вміст лугів в настілях досягає до 7... 14 % і відзначається лише в деяких окремих випадках і, головним чином, в більш високих горизонтах. Це суперечить висновкам деяких авторів, які вважають, що наявність лугів завжди є основною причиною настилеутворення.

Іноді вершина настилів досягає захисного кріплення колошника, особливо при проплавленні цинквмісних руд.

Характерний високий вміст в настілях заліза металевого і у вигляді оксидів, яка доходить до 40...60 %, а іноді і до 80 %. Вміст вуглецю від 3 до 19 %. В окремих місцях у кладки утворюються «гнізда» сажистого вуглецю.

Серед конструктивних факторів, що сприяють настилеутворенню виділені такі як:

1. Відношення діаметра великого конуса до діаметру розпару, визначальне взаємне розташування зон горіння в горні і гребня матеріалів на поверхні стовпа шихти і відповідне при цьому вписування еліпсоїдів розпушення в профіль. Очевидно, що їх перетин з його обрисом свідчить про можливість розвитку периферійного ходу з відповідним розпалом профілю. Розпал відбувається до повного вписування до нього еліпсоїда розпушення, іноді з спотворенням проектних обрисів. Якщо межі еліпсоїдів розпушення знаходяться на деякій відстані від лінії профілю, то це призводить до застою матеріалів уздовж стін шахти з можливим утворенням настилу.

Різняться хімічні та технологічні фактори:

1. Різка зміна теплового режиму (перехід з одного виду чавуну на іншій).

2. Температура початку розм'якшення шихтових матеріалів і первинного шлакоутворення. Встановлено, що руди одного і того ж родовища, але різні за хімічним складом мають різну температуру розм'якшення.

Поєднання цих факторів з підвищенням температури в периферійній області і неминуче в результаті цього розширення зон шлакоутворення вгору по висоті шахти сприяє розвитку процесів настилеутворення.

Леонідов Н.К. вважає, що настиль можна розбити на:

1. Настилі із рідких або розм'якшених продуктів, затверділих при зіткненні зі стінками при інтенсивному їх охолодженні або в результаті збагачення тугоплавкими матеріалами вогнетривкої кладки.

2. Настилі з шихти і продуктів її плавки, затверділих при загальному або місцевому похолоданні печі, наприклад, при нерівному ході чергується підвищенням і пониженням температури, при попаданні в піч води, при перевантаженні периферії печі рудою, особливо дрібною, при неправильному розподілі шихти.

Високий вміст лугів настилів вказує на велику роль лугів в механізмі утворення настилів.

Настилі, першої групи в зоні плавлення мають позитивне значення. При деякій їх товщині між швидкістю їх наростання і зносу настає рівновага, що дозволяє працювати при незначній товщині футеровки і навіть при повній її відсутності. Настилі, такого роду називають гарнісажем. При зміні теплового режиму гарнісаж оплавляється або наростає. Постійний тепловий режим сприяє збереженню гарнісажу.

У роботі [8] встановлено, що при використанні в шихті неофлюсованих окатишів на ММК спостерігається прискорений знос футеровки. Встановлено, що шлаки з таких окатишів утворюються при температурах 1200°C. Ці первинні шлаки мають високий вміст оксиду заліза і володіють несприятливими властивостями - низькою температурою плавлення, сильною піноутворюваністю і високою в'язкістю. Зонаю масового шлакоутворення при 30 % неофлюсованих окатишів в шихті доменних печей є нижня область заплечиків і верхня зона горна. Такі шлаки перешкоджа-

ють утворенню гарнісажу. Відкладення цинку і його окису сприяє руйнуванню футеровки. Подібні результати отримані і в роботі [9].

В роботі [10, 11] досліджували склад настилів на різних горизонтах шахти доменної печі № 1 заводу Tabata. Обговорено питання запобігання росту настилів.

В умовах Новолипецького МК вивчені умови утворення настилів в шихтових умовах [12] при плавлі цинковмісних залізорудних матеріалів. Розроблено заходи запобігання їх утворенню. Однак причини, що сприяють утворенню настилів, викладені не чітко.

Так як руйнування футеровки є одним з факторів утворення настилів, то вивчення цього питання і поведінці вогнетривів в доменній печі в умовах наявності лугів і цинку присвячено значну кількість робіт [13-17].

Встановлено [9], що футеровка руйнується просочуванням в її пори чавуну і шлаку, слід вивчити умови, за яких це відбувається. Для теоретичного визначення цих умов треба знати радіус пір, поверхнєве натягнення і кут змочування чавуну. Середній ефективний радіус пір вуглецевої набійки, застосовуваної в поду доменної печі, коливається від 9,6 до 28,5 мкм або 18 мкм в середньому. Доведено, що для доменної печі з корисним об'ємом 1082 м^3 існує реальна можливість просочування чавуну в пори вуглецевої насадки при гарній її якості. Розміри пір не повинні перевищувати 10 мкм, а пористість повинна бути не нижче 20 %. Таких показників вуглецева насадка не має.

На доменній печі «Нараока» № 2 [15] вивчено вплив вуглецю, лугів і цинку на механізм зносу стін печі, футерованих вогнетривами складу (%): SiO_2 - 55,84; Al_2O_3 - 39,57; Fe_2O_3 - 1,64. Вивчали зміну хімічного складу і фізичних властивостей вогнетривів після експлуатації і приводили рентгенівський аналіз мікроструктури. Основною причиною деформації вогнетривів є крихке руйнування структури під впливом осадження вуглецю, лугів і цинку. На сильно деформованих ділянках футеровки знос вогнетривів збільшується. Кількість осадженого вуглецю зумовлено вмістом FeO і не залежить від вмісту Fe_2O_3 . Він виділяється у вигляді аморфного вуглецю, луги - у вигляді калціліта і NaCl , цинк - у вигляді віллеміта. Їх кількість порівняно невелика. Луги частково знаходяться у вигляді нерозчинних лугів, а в більшості - у

вигляді вуглекислих солей. Співвідношення K_2O/Na_2O у вогнетривах зменшується прямолінійно у міру збільшення відстані від робочої поверхні.

Наведені на одній доменній печі дослідження мінералогічного складу настилів показали, що вони в зоні шахти головним чином склалися з кристалітів KCl , $NaCl$, ZnO . Найбільша кількість хлоридів лугів виявили в зоні над розпаром (більше 20 %). Частина лугів розкладає мулліт ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) шамотної кладки, утворюючи головним чином, лейцит ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$). У настіях виявили присутність ZnO виключно у вигляді вільного мінералу, звичайно спільно з кристалами KCl . Крім того, компонентом настилів в цій зоні є сажа. Настилі зони розпара мають сланцеву текстуру, щільну або дрібнопористу. Вони складаються з вуглецевих шарів і прошарків зеленого ZnO , що містить Fe^{3+} . Настилі щільні, складаються з сильно змінених сажею зерен шамоту, просочених доїбнокристалітним ZnO у вигляді кристалів і пилу. Знос цегли викликаний його розтріскуванням і впливом лугів і сажі, а в нижніх зонах - вплив доменного шлаку.

Автори роботи [18] однією з основних причин утворення настилів вважають появу тонких плівок розплаву подвійних солей та їх розчинів і подальше розкладання цих плівок з втратою рухливості на поверхні футеровки і шихти. Розкладання розплаву і подальша сублімація лужних солей збагачують настилі лужноземельними оксидами, переважно окисом кальцію. Вміст окремих окислів, складових настилів, внаслідок тривалого впливу високої температури і відновної атмосфери, може безперервно змінюватися як по товщині, так і по висоті.

Настилі стали з'являтися і на сучасних, ефективно працюючих доменних печах. Так, на доменній печі № 6 Новолипецького металургійного комбінату поява міцних настилів [12, 19] пояснюється істотним підвищенням концентрації цинку - аж до граничних значень. Для попередження утворення настилів застосовували промивальну шихту; сім холостих подач, потім 100 і 50 т окатишів, розділених нормальною, прийнятою по циклу, подачею. При проходженні промивної шихти на фурмах зазначалося сповзання матеріалів і підвищення вмісту цинку в чавуні до 0,009 %.

У зв'язку з цим одна з проблем, яку необхідно вирішувати одночасно з обваленням настилів, - це запобігання захаращення горна і проплавку настилів без зни-

ження якості чавуну. В роботі [19] відзначається здатність тривалого збереження цинкітних "монолітів" в горні, при якому охолоджуючу дію цинку практично невідчутно, але проявляються ознаки захаращення горна. У цій роботі запропоновано основні технологічні прийоми, які полегшують опрацювання цинкітної настилі з мінімальними втратами виробництва і витратами праці. В основному вони пов'язані з великим додатковою витратою коксу.

Утворення стійких настилів на доменних печах Руставського металургійного заводу [20] пов'язано з високим вмістом цинку (0,05...0,80 % і більше) в аглоконцентраті АзГОКа. Проба настилі мала наступний хімічний склад: CaO - 22,6 %, SiO₂ - 7,8 %, Zn - 3,5 %. На основі аналізу визначили кількість настилі та її вапняне походження. Видалили настилі шляхом поливання її водою, для чого видули піч на 15 м нижче настилі, і безперервно подавали воду через чотири газовідводи насосом високого тиску. Через 1,5 години після початку видувки стався обрив настилі. У цій же роботі наголошується, що на Руставському металургійному заводі часто застосовується для промивання горна і заплечиків доменних печей силікомарганцевий шлак, що представляє собою відходи Зестафонського феросплавного заводу, що включає наростання настилі в нижніх зонах кладки печі.

Активно займаються вивченням настилеутворення і на комбінаті «Арселор-Міттал-Кривий Ріг». Так, в роботі [21] автори розкрили особливості настилеутворення в доменних печах доменного цеху № 1. Хімічний аналіз проб настилі в неохолоджуваній частині шахти доменної печі об'ємом 1719 м³ показав, що вміст лугів не перевищував їх кількості в пробах матеріалу стін шахти, нормально експлуатованих і видутих доменних печей. Вміст ZnO був значно менше величини, що приводить до утворення настилів в печах. У роботі доведено, що чим більше відношення витрат високоосновних до низькоосновних компонентів залізорудної сировини, тим більша різниця температур початку розм'якшення матеріалів і ширше зона вязкопластичного стану стовпа шихтових матеріалів. Це веде до нестійкого руху шихти і газів, утворення застійних ділянок матеріалів, які, потрапляючи в зону тістоподібних мас, прилипають до стін шахти, утворюючи настилі. Високоосновний пил агломерату є центром кристалізації місцевого розплаву. Принципово новим у даній ро-

боті є твердження авторів, доведене експериментально, що за складом залізорудної частини шихти можна прогнозувати не тільки період утворення настилію і місце її розташування за висотою печі, а й період її остаточного формування.

1.2. Вплив цинку на утворення настилів в доменній печі

Дослідженню причин і явищ, що призводять до ускладнення роботи доменних печей при проплавці цинквмісної сировини, присвячено значну кількість наукових робіт, як в Україні, так і за кордоном. При цьому загальновизнаним є посилення проблеми цинку при збільшенні обсягу печей і підвищенні частки підготовленої шихти - агломерату окатишів.

Донедавна висловлювалася думка, що граничний вміст цинку в доменній шихті не повинен перевищувати 0,1 % від її ваги [22-27]. Стверджувалося, що при її перевищенні цієї величини до всіх негативних наслідків, що викликаються цинком, додається деформація і розриви кожухів печей [22]. Однак практика роботи доменних печей вітчизняних і зарубіжних металургійних підприємств спростовує правильність цього висновку [28-32].

У 1980-1984 рр. в доменні печі Новолипецького меткомбінату надходило цинку від 0,43 до 0,60 кг/т чавуну, що становило не більше 0,03 % від ваги шихти. При такій кількості цинку в шихті в печах були нерідкими потужні цинкні настилі, що досягають 200...300 т. Те ж саме можна сказати про настилеутворення в доменних печах Череповецького металургійного комбінату, коли в 1980 р надходила цинку в шихті 0,27...0,33 кг/т чавуну. У 1984 р надходження цинку збільшилося до 0,33...0,51 кг/т чавуну, а шкідливий вплив його не збільшився [30]. На НТМК в 1984 р в доменну піч № 5 надходило 1,7...2,1 кг/т чавуну, що по відношенню до маси шихти становило 0,09...0,12%, але наслідки такого його приходу були не більшими, ніж при значно меншому надходженні [32-33].

Характерна особливість різної за кількістю присутності цинку в шихті полягає в тому, що крайні прояви його скрізь були однакові: похолодання печей, утворення

цинкітних настилів, розриви кожухів. Це показує, що гранична кількість цинку в кожному конкретному випадку визначається режимом роботи доменної печі.

Про те, як режим роботи доменної печі впливає на поведінку в ній цинку, можна судити з його балансів [22, 27, 29-31]. Розподіл цинку за різними видатковими статтями коливається в широких межах, при цьому величина неконтрольованої його частини (нев'язка балансу) вельми неоднакова. Це пояснюється тим, що:

- 1) поведінка цинку в доменній печі чутлива до зміни технологічних параметрів, до системи і режиму завантаження матеріалів, до газодинамічних умов в шахті, до теплових умов роботи колошника;
- 2) в останні роки відносний вихід цинку через колошник з пилом значно знизився, що пов'язано зі зменшенням обсягу колошникового газу, і, отже, його аераційної здатності; відносний вихід цинку через колошник 90...98 % [22, 34];
- 3) збільшення відносної невід'язки балансу цинку при зниженні температури колошникового газу, зниження інтенсивності настилеутворення пов'язане зі збільшенням виходу його через льотки з рідкими продуктами плавки і з подальшим випаровуванням в атмосферу;
- 4) співвідношення контрольованої і неконтрольованої кількості цинку і величина невід'язки опосередковано вказують на існування зони циркуляції якоїсь його маси в робочому просторі печі.

Її існування визнано [22, 26, 27, 35-38], але не пов'язується з певним приходом цинку. Виникнення режиму циркуляції, на думку дослідників, обумовлено головним чином пористістю шихтових матеріалів, тепловими параметрами роботи печі і окислювальним потенціалом газу по висоті шахти [22, 25, 27, 37].

Цинк, який осаджується в порах шматків шихти у вигляді частинок дрібнодисперсного оксиду, знову відновлюється в нижній частині шахти, причому інтенсивно в зоні, обмеженій інтервалом температур 800...1200°C [26, 27, 38, 39, 40]. Кількість цинку, що прийшов з шихтою, відіграє велику роль, тому перевищення усталеною по якомусь рівноваги його маси призводить до дефіциту тепла, попаданню цинку в горн і збільшенню виходу його через льотки.

При підвищенні температури колошникового газу кількість цинку в зоні прямого відновлення зменшується, витрата коксу на його відновлення знижується, збільшується вихід цинку через колошник.

Співвідношення кількості цинку, що виходить через колошник і льотки, а також бере участь в циркуляції і відновлюється прямим шляхом, в дослідженнях не оцінюється. Достатньої інформації про структуру циркулюючої маси цинку немає. З деяких робіт відомо, що крім дрібнодисперсних часток оксиду в зоні циркуляції може бути й інший вид - важковідновні оболонки і плівки на шматках шихти, що утворюються при окисленні рідкого цинку [27, 37, 38].

До теперішнього часу існування рідкого цинку в межах стовпа шихтових матеріалів не підтверджене, так як умови утворення рідкої фази не визначені. Доказом цього можуть служити результати мінералогічного дослідження проб матеріалів, вилучених безпосередньо з печі [38]. В роботі [39] показана можливість утворення рідкого цинку поза стовпа шихтових матеріалів, у просторі колошника і газовідводів [39]. Конкретних даних про цей процес і умови його виникнення і розвитку в шахті доменної печі немає.

Цинк, що приходить в доменну піч з агломератом і окатишами у вигляді важковідновних сполук: фериту ($ZnO \cdot Fe_2O_3$), силікату ($2ZnO \cdot SiO_2$), сульфїду (ZnS), а частина у вигляді оксиду (ZnO) [26, 27, 30, 38]. Також у вигляді оксиду цинк вноситься в агломерат з оборотними продуктами, шламами доменного виробництва [30].

У зв'язку з цим, а також з тим, що втрати чавуну, перевитрата коксу при використанні цинковмісних шламів більше тієї вигоди, які дає утилізація міститься в них заліза, перед металургами давно ставилося завдання знецинкування шламів. Досліди з видалення цинку із сировини при агломерації або випалюванні окатишів, а також створення технологій знецинкування шламів виявилися безперспективними [25, 27, 40, 41]. Таких розробок досі немає і реальність їх здійснення - в далекій перспективі. Тому на деяких підприємствах постало питання про виведення шламів зі складу шихти.

Вжиті заходи особливого ефекту не дали, оскільки розглядалася лише шкідливий вплив цинку, як компонента шихти, а роль режиму роботи печі недооцінювалася.

Передбачалася, що залежно від режиму роботи печі міняється положення зони циркуляції цинку по її висоті і, отже, кількість цинку, яке згодом циркуляції вноситься в область прямого відновлення. Є припущення, що частина цинку може знаходитися в важковідновлюємих формах, але питання це практично мало вивчене [26-28, 38, 39, 42, 43, 44].

Відсутність чіткості в трактуванні механізмів явищ, що відбуваються з цинком, або повна відсутність уявлень про них, а також те, що не були виявлені і обґрунтовані основні фактори, що визначають ступінь шкідливого прояви цинку, не дозволили отримати основоположні результати, придатні для використання в практиці проплавки цинковмісних шихт. Також не вдалося оцінити, яка частина цинку, відкладається на футеровці або накопичується в стовпі шихти, є більш шкідливою. За відсутності такої оцінки майже всі уваги дослідників було спрямоване на боротьбу з цинком, відкладаються у вигляді цинкітних настилів.

До заходів, що зменшують настилеутворення, фахівці відносили встановлення розмірів, розташування фурм і розподіл дуття по колу [45], підбір гранулометричного складу шихти, зменшення вмісту великих шматків і дрібниці, сталість рівня і створення М-подібного його профілю в протилежність V-подібним [40].

Усі заходи, за рідкісним винятком [32], були спрямовані на видалення цинку через колошник. Тому надавалося важливе значення складаним тут термодинамічним умовам. Вважалося, що найважливішим з цих умов є температура колошничкового газу [24, 27], при підвищенні якої винос цинку збільшується, і усувається настилеутворення. Однак такий шлях пов'язаний з підвищеною витратою коксу, і використання його має бути обмежена [25].

Інші дослідники, навпаки, вважали, що ефективною умовою зменшення настилеутворення є зниження температури колошничкового газу, оскільки при цьому підвищується його окислювальна здатність [37]. Згідно думки французьких фахівців, створення необхідних умов для меншого прояву цинку в доменному процесі має

бути компромісним. Вони рекомендують для нормальної роботи печі осьовий хід з центральним піком температури газу 450 °С, уникаючи її підвищення на периферії [46].

Передбачалися також заходи з видалення цинку: з рідкими продуктами плавки [27, 46], введення в шихту реагентів [24, 25], використання високоякісних вогнетривів [23, 25, 27].

Відомі пропозиції, які полягають у видаленні цинку з шахти доменної печі шляхом опускання рівня засипу шихти [47, 48] або повної видувки печі. Однак у технічних рішеннях [49, 50] немає чіткої визначеності у виборі глибини опускання рівня засипу і витримки його на цій глибині. До того ж однією з цілей розробки способу видалення цинку є проплавка завалених настилів.

Таким чином, незважаючи на гостроту проблеми цинку, великий обсяг досліджень і фактів шкідливого його прояви в доменній печі, будь-якої концепції його поведінки в доменному процесі або принципів засад такої концепції до кінця 80-х років сформульовано не було.

З цієї причини факти шкідливого прояву цинку в доменній печі часто суперечили уявленням фахівців про механізм явищ. Особливістю було те, що видимі наслідки присутності цинку, цинкітні настилі, були значними як при високому, так і при низькому його приході, і могли бути взагалі відсутнім при високому надходженні його з шихтою. При високій температурі колошникового газу спостерігалися важкозрозумілі розриви кожухів, при низькій температурі вони були відсутні і т.п.

При цьому відзначалися випадки, коли важкозрозумілі з технологічних позицій ситуації, що складаються на доменних печах - важкі розлади ходу, різного ступеня аварії, незаслужено ставилися на присутність цинку, в інших ситуаціях, навпаки, його роль недооцінювалася.

Причини протиріч фактів шкідливого прояви цинку і уявлень про його поведінку в печі, відсутність оцінки його дійсної ролі в доменному процесі були, на наш погляд, наступні:

- 1) не були розкриті механізми явищ, що відбуваються в доменній печі з цинком, і, в першу чергу, такого як виникнення і розвиток його рідкої фази;
- 2) відсутність чіткої оцінки видів і форм вторинного цинку, що утворюють настилі, що входять в циркулюючу масу, координат і конфігурації зон циркуляції;
- 3) відсутність уявлень про послідовність виникнення і розвитку явищ за участю цинку, починаючи з його надходження в доменну піч, атрибуції факторів, що визначають цю послідовність;
- 4) в ряду можливих факторів, що визначають утворення цинкітних настилів і відкладення різних форм цинку в стовпі шихти, першочергова роль відводилася фізичним факторам: розподілу газового потоку і шихти, гранулометричному складу матеріалів, системі завантаження, положенню рівня засипу шихти, якості вогнетривів і т.п., в той час як термодинамічні фактори розглядалися як другорядні або взагалі не розглядалися;
- 5) суперечливість уявлень про роль режиму роботи печі.

Саме цими недоліками пояснюється те, що існує точка зору, яка базувалася:

- 1) накопичення цинку в доменній печі і ступінь його шкідливого впливу визначається приходом його з шихтою;
- 2) раціональними є заходи з обмеження приходу цинку з шихтою і виведення його через колошник підвищенням температури колошникового газу;
- 3) не існує економічно вигідних технологічних заходів боротьби з шкідливим проявом цинку;
- 4) вважалося, що проведення подальших досліджень з метою пошуку економічно вигідних і ефективних заходів боротьби з цинком безперспективно.

Незважаючи на висновки про безперспективність подальших спроб вирішення проблеми і на те, що в 70-і роки інтерес дослідників до неї практично згас, і всі дії в

цьому напрямку зводилися до складання балансів, зазначені вище недоліки виконаних робіт вказують на те, що використані не всі засоби для досягнення мети і немає безперечного доказу неможливості навмисного впливу на поведінку цинку технологічних заходів.

1.3 Вплив лугів на роботу доменної печі

Останнім часом у зв'язку із введенням в експлуатацію потужних доменних печей зріс інтерес доменників зарубіжних країн до проблеми впливу лужних металів на показники доменної плавки. Обумовлюється це тим, що лужні метали (оксиди, силікати, карбонати натрію і калію), що містяться в шихтових матеріалах і які потрапляють разом з ними в доменну піч, є джерелами серйозних труднощів при виплаві чавуну [51]. Перевищення в доменній шихті допустимої кількості лужних металів на 1т чавуну викликає погіршення роботи доменної печі, зниження її продуктивності, зменшення міцності коксу, призводить до підвисання шихти, утворення настилів та прискорення руйнування кладки печі. Гранична кількість лужних металів у шихті залежить від стану доменної печі та умов плавки.

Фахівці інституту "Ірсід", групи Arselor (Франція) та заводу Діллінгер (Німеччина) провели термодинамічний аналіз процесів циркуляції хлору та лугів у печі за допомогою математичної моделі GEMINI2 (Термодата-Гренобль) з використанням даних про склади понад 250 проб матеріалів та газу печей заводу Діллінгер. Показано, що в зоні заплічників утворюються KCl , $NaCl$, HCl , $CaCl_2$, KCN , $NaCN$, а також газоподібні K і Na . При русі вгору через резервну зону змін немає, а в районі колошника KCl перетворюється на конденсований стан при $750^{\circ}C$. При рівноважних умовах видаленню KCl та $NaCl$ з газом сприяють: центральний газовий потік та винесення пилу. За нерівноважних умов з газом може залишати піч також і HCl . На установці BORIS в протиточному трубчастому реакторі з піччю, що рухається, моделювали поведінку лугів і хлору в шахті доменної печі. Умови дослідів: вміст коксу (5-15 мм) і агломерату (5-15 мм) 50:50; нагрівання до $1100^{\circ}C$ 2,5 год; молярне відношення $(C+H_2)/Fe=2$; $H_2/C=0,15$. Перед дослідом кокс і агломерат просочували

K_2CO_3 , KCl . Відзначено наявність двох циклів циркуляції лугів, що взаємно перекриваються: 1) конденсований K_2CO_3 /рідкий K_2O /газоподібний K ; 2) конденсований/газоподібний KCl [52].

Однією із причин посилення ступеня шкідливого прояву лугів останнім часом є підвищення температури колошникового газу. Це призводить до збільшення протяжності зон циркуляції лугів по висоті печей за рахунок переміщення її верхньої межі ближче до засипу. Циркулюючі маси лугів та кількість їх у нижній частині доменної печі збільшуються, що призводить до інтенсифікації їх впливу на футерування та питому витрату коксу [51].

Наприклад, на доменній печі №10 Магнітогорського металургійного комбінату (ММК) було відзначено утворення лужних сполук на поверхні великого конуса та чаші, у тому числі на їхній контактній поверхні. Таке явище в доменному цеху раніше не наголошувалося. Дослідження проб футерування доменної печі №9 після її зупинки на капітальний ремонт внаслідок прогару горна показало також дуже характерну картину впливу лугів.

Стан кладки з вуглецевих блоків у районі чавунної льотки (з боку великого ливарного двору) та набійки змінився. Загальний стан кладки з вуглецевих блоків у районі льотки «великого» ливарного двору зазначено як задовільний [51].

Проте вуглецеві кладки у районі «малого» ливарного двору оцінили як незадовільні. За набиванням у кладці останнього виявили розташування вуглецевого блоку з цілісною зоною завтовшки до 350 мм. У вертикальному розрізі кладки вуглецевих блоків горна довжина непереродженої зони зростала зверху донизу. Вгорі у цегли кладки її довжина не перевищувала 150 мм. Пухка зона ширша (до 150-250 мм) і явно виражена. Вона була заповнена відкладеннями цинку та лугів (пухкими кристалами зеленого кольору та потік у вигляді бурульок брудно-жовтого кольору).

Товщина непереродженої зони вуглецевих блоків горна, прилеглих до набійки, на всіх шести ярусах була приблизно однакова і частково заповнена чавуном, відкладеннями цинку і лугів.

У районі прогару блоки обстановки мали повністю перероджену структуру. У швах, на глибину трьох блоків було виявлено чавун, який розташовувався впритул

до холодильників. Внаслідок розгерметизації кладки блоків обстановки зазори в швах досягали 10-20 мм і були заповнені чавуном [51].

Насичення перероджених зон вуглецевих блоків лугами та цинком було дуже значним і досягало 10-13% за кількістю K_2O . Особливістю наведеного характеру насичення вуглецевих блоків лугами і те, що натрій відкладався у ній менш інтенсивно та її вміст було значно меншим - не більше 2,3-3,2 %. Переважно калій відкладався і в цегляній кладці. Тут він накопичувався до 23,3-29,3, кількість цинку, що відклався в пухкій частині вуглецевих спеків, досягала 7,3-14,8 %. Зелені кристали в цегляній кладці, що примикає до вуглецевих блоків над чавунною льоткою № 2, були представлені в основному цинком і містилися в значній кількості, досягаючи 69%.

Відкладення жовтуватого кольору як підтікань у кладці літкового отвору (№1) було складним за складом і містило до 49 % K_2O , 26 % Na_2O і 11,3 % ZnO . Подібна характеристика притаманна й іншим пробам матеріалів футеровки горна та лещаді доменної печі №9 ММК. Безперечно, подібна цілком закономірна ситуація могла спостерігатися і в інших доменних печах комбінату.

Ці дані переконливо підтверджують, що присутність лугів у доменній шихті може створювати досить серйозну проблему забезпечення тривалої кампанії доменних печей і високих техніко-економічних показників їх роботи.

У наведених результатах вивчення стану кладки після тривалої кампанії доменної печі простежується важлива закономірність: відкладення лугів більш суттєві на цеглинах та в їх тріщинах порівняно з відкладеннями у вуглецевих блоках. Це пояснюється присутністю в речовині цегли глинозему і кремнезему, з якими луги вступають у реакцію з утворенням сполук, у тому числі легкоплавких евтектик.

Не менш істотною інформацією є те, що за ступенем взаємодії лугів з речовиною кладки та впливу їх на її стан роль лугів дуже неоднакова. Щодо цього калій більш шкідливий, ніж натрій. Ця різниця у властивостях лугів безсумнівно проявляється й у поведінці у верхній частині доменної печі, на ступінь їхнього відкладення в стовпі шихтових матеріалів та їх накопиченні з утворенням контурів циркуляції [1].

1.4. Способи видалення настилів

Як правило, більшість настилів видаляється або розмиванням водою, або вибухом. У технічній літературі описані та інші способи видалення настилів. Так Вегманн Е.Ф. і Лазуткіна Є.В. [53] запропонували спосіб видалення настилів, який включає подачу палива в стовп шихти через вертикальні труби. З метою розплавлення настилів в працюючій печі через вертикальні труби подають до місць розташування настилу повітря або збагачене киснем повітря, або O_2 , при цьому вертикальні труби вводять в стовп шихти вертикально або під кутом до вертикалі, а перед початком подачі окислювача труби продувають азотом. З метою займання доменного газу або коксу через вертикальні труби подають нагріте до $800\text{ }^\circ\text{C}$ повітря.

Ю.П. Купріянов, В.А. Захаров, В.І. Гель та ін. [54] запропонували подавати на поверхню настилу відносносульфідуючу суміш в порошковому вигляді безперервного струменя, підтримуючи температуру в зоні обробки $1500\text{...}1550\text{ }^\circ\text{C}$, а в якості відновника використовували подрібнені алюмінійвмісні відходи в суміші з доменним колошниковим пилом.

Для контролю видалення та виносу настилу в роботі [55] запропоновано обладнати доменну піч численними датчиками температури і системою виміру температури шляхом періодичного опитування датчиків. На підставі результатів вимірювань проводяться розрахунки різниці попередніх і наступних значень температури в кожній точці. Ця різниця розглядається як температурний градієнт, порівнюється з базовою величиною, заданої заздалегідь і відповідає умові відділення та виносу настилу. Таким способом контролюється факт відділення або збереження настилу на внутрішній стінці печі.

На НЛМЗ розроблена технологія змивання настилів промивною шихтою в якості рудного навантаження, в якій використовувалися окатиші [12].

На підставі аналізу роботи доменної печі № 3 об'єднання VSIMINAS ($+2700\text{ м}^3$) запропоновано шляхи і способи контролю утворення та видалення настилів - рідкі силікатоалюмінати лужних металів. Склад і місце залежить від ряду факторів [51].

Утворенню настилів сприяє:

1. Попадання з шихтою лужних металів і цинку.
2. Підвищена кількість глинозему в шихті.
3. Погіршення міцності шихти.

Після зупинки печі виявлені настилу товщиною до 1700 мм об'ємом 245 м³, з товщиною крихкого шару до 300...400 мм і металевого шару до 600...700 мм. Настилі локалізувалися по всій шахті і частково в розпарі. Наведено склад настилів. Виявлено присутність великих кількостей K₂O (2,01...20,4 %) і різкі коливання вмісту ZnO (0,4...77,6 %) і Fe (0,69...87,6 % FeO).

Описано технологію і приведені погодинний графік робіт з видалення настилу вибухом із зупинкою печі ≤ 20 год. Вибухи проводили зверху-вниз по колу доменної печі, починаючи, з більш крихкою складової настилу. Витрата вибухівки - 294,3 кг.

Для забезпечення гарного ходу печі необхідно використовувати наступні принципи контролю та управління доменною піччю:

1. Періодичні інспекції стін, видалення невеликих настилів свердлінням;
2. Контроль лужних сполук і цинку в шихті. Найбільші кількості K₂O надходять з коксом (0,23...0,28 %) і марганцевими рудами (0,36...0,70 %); Na₂O - з коксом (0,11...0,14 %) і марганцевими рудами (0,04...0,09 %); ZnO - розподіляється по всій шихті рівномірно. При цьому 59 % шкідливих оксидів надходить з калієм і 37 % - з агломератом.
3. Для видалення лугів практикується періодична робота на низькому основному шлаку, а для видалення цинку - підвищення температури на колошнику і пониження тиску, зниження вмісту Н₂ в газі.

Велика кількість пропозицій по зняттю настилів в доменній печі зроблено доменщиками Японії. Так, в роботі [53] запропоновано в період припинення подачі дуття в стінці доменної печі просвердлили соплові отвори, в які вводять пристрій для нагнітання газу під високим тиском. Через цей пристрій в імпульсному режимі нагнітають газ під високим тиском так, щоб на прилипли до внутрішньої стінки печі настилі діяла ударна хвиля тиску, досягаючи, таким чином, відділення настилу від

стін. В [59] настилі виявляють на початковій стадії їх формування, знижують рівень засипу в доменній печі нижче рівня, де утворилася настиль, призупиняють подачу дуття, і на настил направляють струмінь хладагента, досягаючи, тим самим, різкої зміни фізичних властивостей, відшарування і обвалення настилу. В [50] запропоновано в аналогічній ситуації скидати на настиль матеріал з великою питомою вагою, ніж доменна шихта, і, таким чином, механічно видаляти настилі. В [51] для видалення налипання на стінах доменної печі запропоновано завантажувати на периферію кокс для посилення периферійного потоку газу і розплавлення настилу.

У Японії запропоновано видаляти настилі за допомогою вогнепальної гармати через люки на рівні засипного апарата. За станом настилу спостерігають візуально або за допомогою спостережної камери. При необхідності рівень засипу знижують. Гармата може мати дистанційне керування. Калібр її 10...50 мм. Наприклад, снарядами діаметром 20, вагою 85 г настилі руйнують за 1,5 год після 250 пострілів [52]. Там же запропонований і метод проведення вибуху настилу [53].

На поверхню настилів укладають кабелі з нанизаними на них патронами з вибухівкою. Кабелі натягують через отвори в кожусі і покривають шаром торкрет-маси. У цьому випадку ефект вибуху, що руйнує настилі, підвищується. Настилів видаляють без охолодження печі.

На доменних печах компанії Сін Ніппон сейтецу [44] вимірюють товщину настилі в доменній печі. Фіксують розподіл температури колошникового газу на периферії. Стежать за максимальною температурою кожуха печі. Підраховують частоту осаду шихти. Порушення однорідності розподілу температури периферійного газу, зниження максимальної температури кожуха і (або) збільшення частоти осадки шихти до ≥ 3 в одну добу протягом ≥ 5 діб свідчить про початок утворення настилів товщиною ≥ 500 мм. Видаляють настилі наступним чином. Рівень засипу опускають нижче настилу. Припиняють подачу дуття. Завантажують у піч матеріал, питома вага якого вище питомої ваги шихти. Розташовують лоток, що обертається або рухливі плити колошника так, щоб настилі руйнувалася падаючим матеріалом.

Нерівномірність температури периферійного газу на колошнику доменної печі корисним об'ємом 1730 м^3 досягла $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Знизилася максимальна температура ко-

жуха, частота осаду зросла до ≥ 5 в 1 добу протягом семи діб. У середній частині шахти в двох місцях виявили настилі 4000X3000X700 мм і кільцеподібну настиль товщиною 300...400 мм. Частина настилу відокремилася внаслідок теплового удару при зниженні рівня засипу. Завантажили три подачі по 100 т невеликих чавунних злитків. η_{CO} підвищився на $\sim 0,9$ %; витрата палива знизилася на 6 кг/т чавуну.

1.5. Методи запобігання утворення настилів

Заходи щодо запобігання утворення настилів з досліджень до 1950 р досить повно викладені в роботі [6]. Однак, слід зазначити, що дослідженнями, які проведені Жеребіним Б.І., було також показано, що в умовах ММК збільшення вмісту глинозему в шлаку сприяє отриманню більшого одноманітності в сенсі температур розм'якшення і розплавлення основної маси проплавлячих матеріалів і складу первинних шлаків. Хоча в окремих роботах показано протилежний вплив глинозему.

Проведення періодичних «промивок» сприяє очищенню профілю від настилів, попередженню «перевантаження» центральної частини. Як вказувалася вище, на НЛМЗ була здійснена спроба «промивання» доменної печі з використанням окатишів, що дала позитивні результати.

З метою запобігання руйнування кладки шахти печі за кордоном застосовується порівняно новий метод її футеровки малозалізистими вогнетривкими матеріалами, що мають високу щільність і містять 43...45% глинозему, а також щільних, стійких проти впливу СО цегли з 42...44 % Al_2O_3 . Застосовується також комбінована футеровка цими двома матеріалами. Здійснюється ретельний контроль за надходженням в доменну піч цинку і лугів.

1.6. Напрямок наукових досліджень з вивчення умов настилеутворення

Виходячи з наведеного аналізу літературних джерел, умовами, що визначають розвиток настилеутворення в доменній печі, є:

1. Фізико-хімічні властивості шихтових матеріалів (температура розм'якшення, плавлення, величина зони первинного шлакоутворення).
2. Неправильна експлуатація доменних печей. Надмірне форсування доменних печей дуттям призводить часто до роботи з максимально розкритою периферією, що сприяє дестабілізації роботи газового потоку, посилює процес настилеутворення.
3. Низька якість вогнетривких матеріалів і швидке руйнування футеровки печі.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАСТИЛЄУТВОРЕННЯ В УМОВАХ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ З НИМИ

2.1. Дослідження умов настилутворення

Огляд печей ПАТ «Запоріжсталь» на капітальних ремонтах в період з 2018 по 2019 рр. виявили наявність настилів в доменних печах № 3 і № 4. У не охолоджуваній частини печі № 3 в районі «вісь похилий міст - вісь чавунна льотка № 2" товщина настилу приблизно 1,5 м. На першому ряду холодильників товщина настилу зменшується приблизно до 0,5 м. У районі чавунних льоток № 1 і № 2 на першому ряду холодильників товщина настилу досягає приблизно 1 м. Нижче 2 ряду холодильників товщина настилу приблизно 0,8 м. (рис. 2.1) [55].

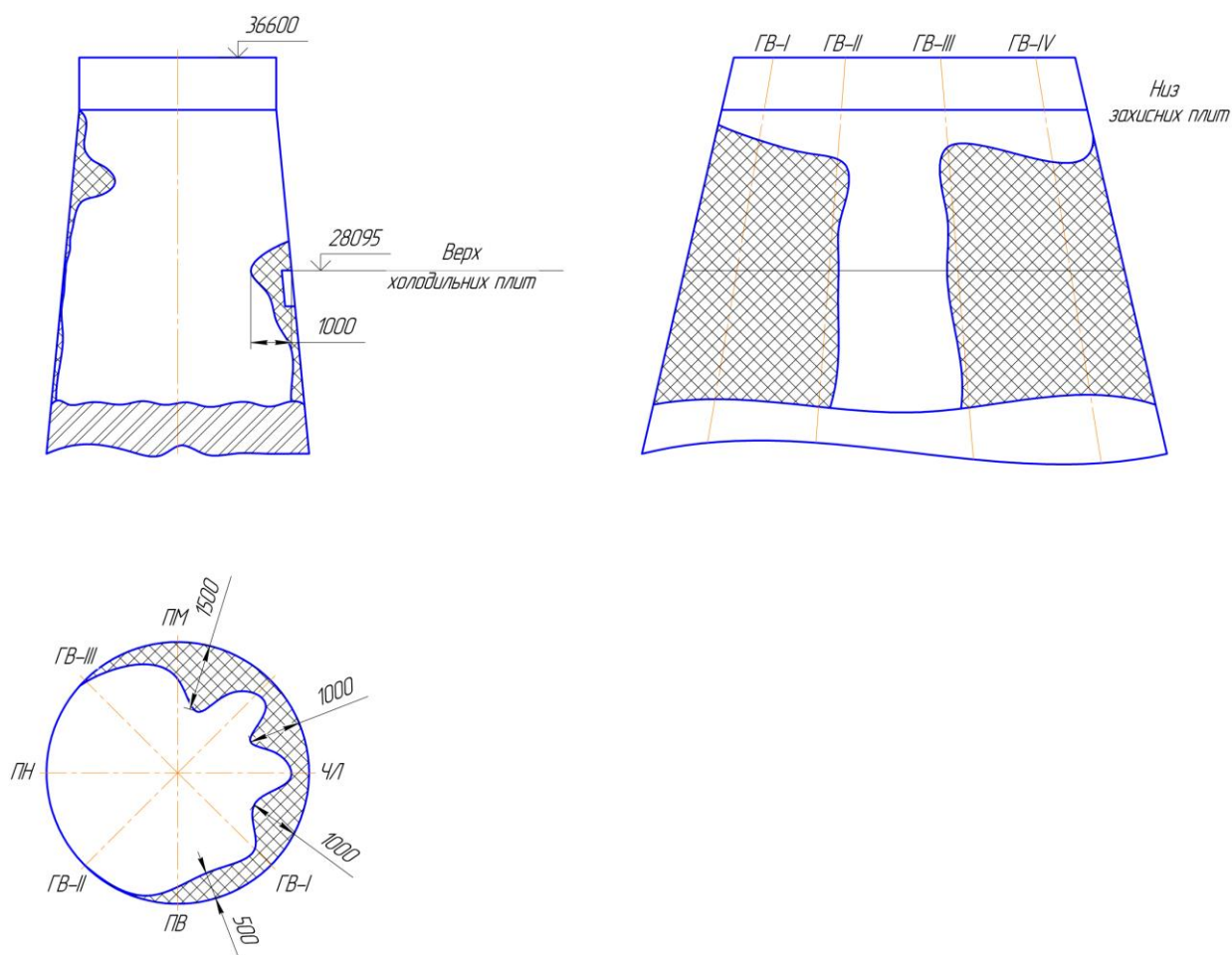
Хімічний аналіз проби наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад настилі доменної печі № 3 ПАТ «Запоріжсталь»

Хімічна речовина	Вміст в настилі, %					
	Перевірочні проби у стінці		Проби			
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
SiO ₂	14,35	3,92	8,35	7,08	41,80	8,6
Al ₂ O ₃	2,40	2,80	6,18	5,09	30,57	5,9
CaO	4,00	0,80	-	-	-	-
MgO	1,30	0,25	-	-	-	-
Fe	43,00	2,60	1,06	1,14	5,42	3,4
P	0,035	0,020	-	-	-	-
MnO	0,22	-	-	-	-	-
Zn	4,00	42,0	45,50	40,40	3,70	38,4
K ₂ O	0,28	0,70	-	-	-	-
Na ₂ O	0,38	0,50	-	-	-	-

Хімічний аналіз цього настилу показав, що основою її з'явилася залозиста маса (конгломерат). Звертає на себе увагу наявність лужних сполук і цинку. При видаленні настилу вибухами в районі чавунних льоток обрушилася кладка, інша частина настилу не вилучена. Вага настилу становив 100-120 т.

Візуальний огляд доменної печі № 4 показав наявність кільцевого настилу. На третьому ряду холодильників йде уступом вниз. Товщина настилу 0,5-1,8 м, висота 10-11 м (рис. 2.2).



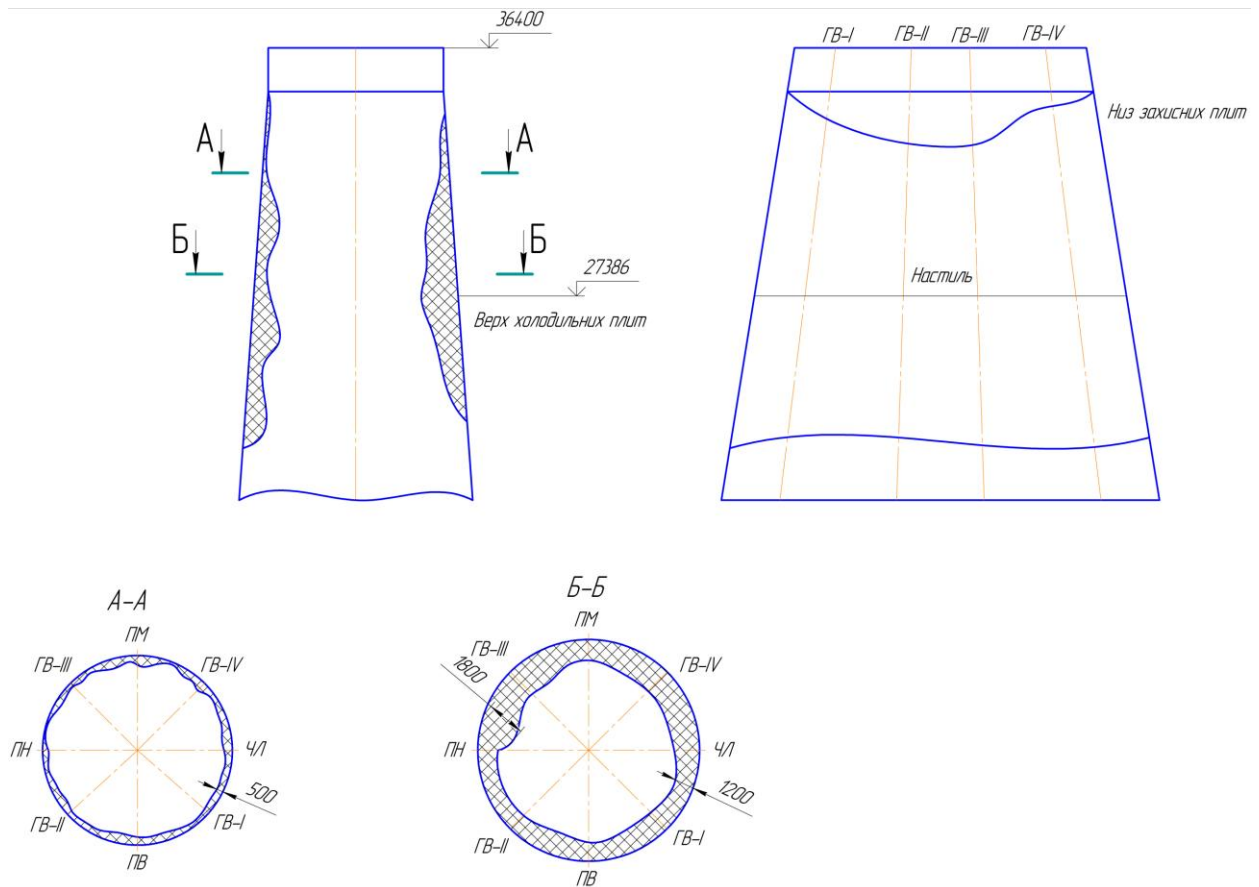
ГВ – газовідведення; ПМ – похилий міст; ПН – повітрянагрівач; ПМ – похилий міст

Рисунок 2.1 - Настиль доменної печі № 3 ПАТ «Запоріжсталь»

Хімічний аналіз проби виявив наявність наступних сполук, %: SiO_2 - 48,5; Al_2O_3 - 41,1; CaO - 0,5; MgO - 0,3; Fe - 5,1; P - 0,035; Zn - 1,15; K_2O - 2,1; Na_2O - 0,2.

Причиною утворення настилу стала тривала робота доменних печей з явно вираженим периферійним потоком. Це погіршувалася низькою якістю агломерату і коксу.

Робота доменних печей з периферійним потоком сприяла розвитку високих температур в зонах утворення настилів, налипання розм'якшених частинок агломерату на стінки і подальшого утворення настилів. Крім того, наявність лужних сполук сприяла надмірному руйнуванню коксу, який і без того має низьку якість, і зниженню температури розм'якшення агломерату.



ГВ – газовідведення; ПМ – похилий міст; ПН – повітрянагрівач; ПМ – похилий міст

Рисунок 2.2 - Настиль доменної печі № 4 ПАТ «Запоріжсталь»

2.2. Прихід цинку в доменні печі

Практично всі матеріали, що входять до складу доменної шихти або використовуювані в ній епізодично - залізовмісні, флюси, кокс, містять ту чи іншу кількість цинку. Найбільшу його кількість вносять у піч залізрудні матеріали.

У піч цинк надходить у первинному, природному стані, якщо агломераційна шихта не включає оборотні продукти металургійного переділу - доменні і сталеплавильні шлами. Добавка шламів вносить в аглошихту до 40% цинку від його загальної кількості.

У доменних шламах вміст цинку від 0,03 до 3,5%, сталеплавильних - від 4,0 до 4,5%. При цьому в доменних шламах він знаходиться в основному у вигляді оксиду,

частинки якого можуть бути у вільному стані (механічна домішка) або у зв'язаному (у вигляді плівок і оболонок на поверхні частинок пилу). У сталеплавильних шламах цинк знаходиться в основному в складних з'єднаннях і у вільному стані його мало.

У агломераті і котунах цинк міститься в складних сполуках фериту ($\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), силікату ($2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$), сульфїду (ZnS), тобто він важковідновлюваний. Тому маса первинного цинку газифікована тільки в нижній частині печі, в зоні прямого відновлення при температурах 900...1200 °С, причому в значній частині в області в'язкопластичного стану матеріалів і розплавів (зона когезії).

При добавці шламів у аглошихту форма вторинного цинку також визначає місце його газифікації: цинк, внесений сталеплавильними шламами, повинен здебільшого відновлюватися в нижній частині печі подібно первинній формі, цинк доменного шламу, внаслідок високої дисперсності частинок оксиду, цілком ймовірно, відновлюється в основному в сухій частині стовпа шихтових матеріалів. Дослідження підтверджує таке припущення.

2.3. Накопичення цинку в доменній печі

Пряких способів кількісного визначення маси цинку, циркулюючого в доменній печі, не існує. Єдиний шлях отримання такої інформації - визначення виходу його через колошник з пилом при частковій або повній видувці печей, коли величина концентрації цинку прив'язується до конкретного горизонту шахти. Такі визначення були виконані на доменних печах НТМК і ММК.

Практично всі результати оцінки накопичення цинку, характеру зміни його концентрації по висоті печі вийшли якісно подібними, але не однаковими. Кількісні відмінності є, і вони в деяких випадках були значними як у відношенні абсолютного накопичення, так і щодо розташування зон підвищеної концентрації щодо рівня за-сипу шихти.

Така відмінність цілком з'ясовна; відмінні обсяги печей, ступінь деформації температурних полів, положення рудного гребеня, розподіл і кількість газу, його температура й інші чинники, що визначають координати зон циркуляції.

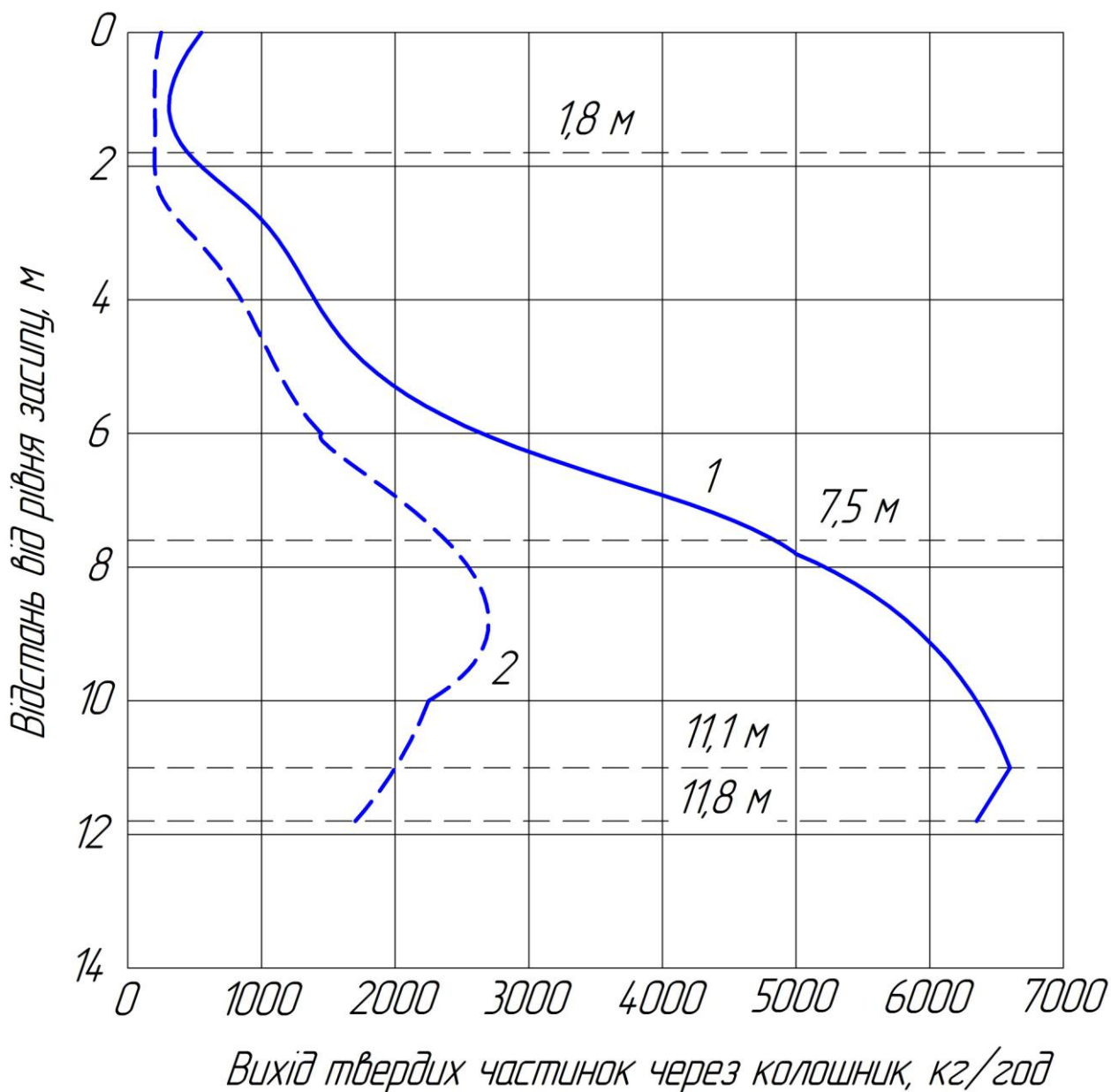
Так у пробах шламів мокрою газоочистки, відібраних при частковій видувці доменної печі № 6 НТМК, вміст цинку досягало 55%. При опусканні рівня засипу на 12 м вміст знизився до 23% (звичайне вміст цинку в шламах становить 1,0 ... 4,0%). У той же час в окремих фракціях сухого пилу вміст цинку досягало 20 ... 46%.

Оцінка маси накопиченого цинку в частині зони циркуляції доменної печі № 6 показала, що питома концентрація його складала 25 ... 30 кг/т чавуну. За даними ЧерМК в доменній печі № 4 накопичувалося 35 ... 36 кг/т чавуну [23]. При видувці доменної печі № 4 НТМК (листопад 2009) виробляли відбір шламів і сухої частини пилу за весь період пониження рівня засипу. Вміст цинку в пилу наростав і через 2,0 ... 2,5 години (горизонт 5,5 ... 6,0 м від нормального рівня засипу) досягав 59,8%, після чого став поступово знижуватися (рис. 2.3). Характерно, що зниження кількості цинку почалося раніше зменшення виходу пилу. Продовження зростання виходу пилу, а потім зниження, говорить про те, що він також бере участь в циркуляції, але у випадку цинку діє й інший механізм осадження його в шихті.

Загальний вихід цинку зі шламами склав 15 ... 16 т. Дещо менша кількість вийшла з сухою частиною пилу. Орієнтовна питома концентрація цинку в зруйнованій зоні циркуляції (до рівня 12 м від засипу) складала 30 ... 35 кг/т чавуну при приході його з шихтою 1,9 ... 2,1 кг/т чавуну.

У доменних печах ЧерМК концентрація цинку в шахті оцінювалася також вельми близькою величиною - 36 ... 37 кг/т чавуну [66], при парафії його в піч - 0,35 ... 0,51 кг/т чавуну.

Подібна картина вийшла при продуванні доменних печей ММК (рис. 2.4). Вміст цинку в пилу, що видувається, був меншим, ніж в умовах НТМК, максимальний вміст досягав 45 ... 49%. Абсолютний вихід цинку в більшості випадків також був меншим, що пояснюється меншим обсягом печей. Однак величини питомої концентрації вийшли сумірними: 25 ... 30 кг/т чавуну по відношенню до обсягу зони циркуляції і 8 ... 13 кг/т чавуну до обсягу всієї шахти.

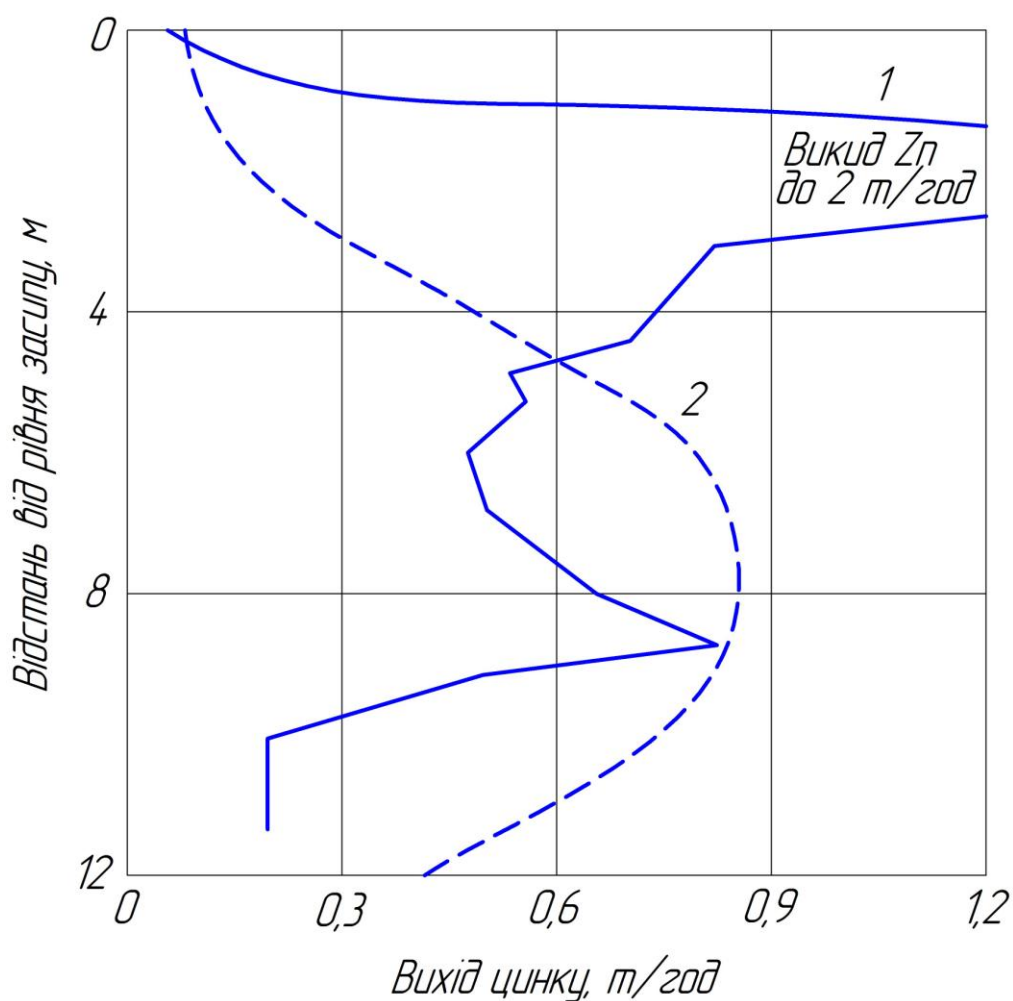


1 – вихід пилу, кг/год; 2 – вихід цинку, кг/год

Рисунок 2.3 - Характер накопичення цинку в доменній печі № 4 НТМК

Особливістю характеру накопичення цинку в доменних печах ММК є те, що зона його циркуляції розташовується досить близько до рівня засипу шихти, а область з високою концентрацією знаходиться в межах 4 ... 13 м від кромки великого конуса.

Максимум концентрації розташовувався на глибині 7 ... 10 м. Кількість цинку в цих зонах становила зазвичай 4,0 ... 4,5 т. Загальний вихід цинку з печей досягає 8,0 ... 9,9 т. Прихід його з шихтою становить 0,31 ... 0,37 кг/т чавуну.



1 – доменна піч № 3; 2 – доменна піч № 4

Рисунок 2.4 - Характер концентрації цинку в шахті доменних печей ММК

Дані, отримані при глибокому опусканні рівня засипу і повній задувці печей, показують, що в нижній частині печі існує другий контур циркуляції. Кількість цинку тут досягає 3,0 ... 4,0 т.

Верхній і нижній контури циркуляції існують автономно, перебуваючи в певному балансі, про що свідчить поділ максимумів концентрації. Автономність обумовлена відмінністю механізмів утворення, станом цинку і типом носія низхідних гілок циркуляції.

У висхідній гілці верхнього контуру цинк знаходиться у вигляді пари, свободних частинок оксиду, що утворюється безпосередньо в газовій фазі при окисленні парів (газовий оксид). У низхідній гілці цинк може перебувати також в декількох формах. Тут присутній газовий оксид, що осів в порах шматків шихти, металевий

цинк і його оксид на поверхні шматків шихти, що утворився в результаті конденсації парів (конденсатний оксид, конденсатний цинк).

У нижньому контурі єдина форма стану цинку - пар. Загальним носієм висхідних гілок служить газовий потік.

Наявність екстремумів на кривих, що відображають зміну концентрації цинку по висоті печі, свідчить про те, що у формуванні циркулюючої маси бере участь кілька механізмів накопичення. Основна роль відводиться газовому оксиду. Він осідає в порах шматків шихти, опускається в нижні горизонти, знову відновлюється до пари, яка виноситься газовим потоком, знову окислюється, заповнюючи пори шматків. В результаті виникає постійна циркуляція значної маси цинку. В основному саме ця маса малася на увазі, коли була "встановлена" межа накопичення, рівна 0,1% від ваги шихти [29, 46]. Вибір цієї величини, на нашу думку, малообоснований. При високому вмісті цинку в шихті (НТМК) вона може відповідати вже приходу.

Простий розрахунок обсягу відкритих пір показує, що вони можуть вмістити цинку до 100 кг/т чавуну. Природно, що ефективний об'єм пор значно менше фактичного. До того ж є звичайний рудний і коксовий пил, здатний осідати в тих же порах. Але в кожному разі та частина цинку, яка циркулює тільки у вигляді газового оксиду, повинна бути більше величини 0,1%. Вона в той же час повинна бути менше тієї маси, яка виявляється у верхньому контурі циркуляції (35 ... 37 кг/т чавуну). Це вказує на два фактори: вибір граничної величини накопичення цинку випадковий і є приватною оцінкою; повинна існувати ще одна форма існування вторинного цинку, здатна протистояти газовому потоку і бути важковідновлюваними, що обумовлює накопичення цинку і в нижній частині печі. Припущення переведено в розряд встановленого факту.

Газовий оксид - форма вільна і навряд чи вона істотно впливає на відновлювально-теплову роботу низу печі, особливо в зоні когезії і горні. Ця форма внаслідок високої дисперсності частинок цілком може відновлюватися переважно в сухій частині шахти. Одним із доказів цього є те, що при виведенні шламів з обороту (НЛМК) різко знизився відносний вихід цинку через колошник, а нев'язка балансу дещо збільшилася. Це сталося тому, що абсолютний прихід цинку в горні і вихід його

го з продуктами плавки залишився близькими до колишніх і при меншому приході цинку з шихтою.

При переважному накопиченні газового оксиду в зоні циркуляції характер зміни його концентрації по висоті печі був би досить простим: наростання концентрації в вузькій ділянці висоти під рівнем засипу і сталість її до горизонту початку відновлення оксиду.

Як видно з практичних даних (рис. 2.4), екстремуми на кривих доволно значні і розташовані в вузькій ділянці стовпа. Це вказує, що поряд з чисто механічним осадженням газового оксиду в порах шихти існує ще й інший, більш потужний механізм накопичення цинку, обумовлений термодинамічними умовами. Такий механізм розкритий і пояснений. Процес утворення конденсатних форм металевого цинку і його оксиду на поверхні шматків шихти у вигляді плівок або оболонок раніше розглядався відносно утворення цинкових настилів, але механізм його не був розкритий.

Утворення конденсатних форм цинку і їх накопичення ускладнюють конфігурацію зони циркуляції в об'ємі печі. Оскільки основним фактором конденсації є теплові та термодинамічні умови, то через нерівномірності радіального розподілу газу, його складу і температури область утворення конденсатних форм в горизонтальному перетині повинна розташовуватися на різній відстані від рівня засипу, ніж ускладнюється її конфігурація.

Представлені на рис. 2.3 дані відображають сумарну, інтегральну концентрацію цинку в окремих горизонтальних ділянках висоти шахти. Це означає, що концентрація цинку не рівномірна по перетину і в окремих вертикальних кільцевих ділянках зосереджується основна маса цинку, вона значно більше середньої величини, а в інших ділянках менше.

Саме внаслідок складності конфігурації галузі утворення конденсатної форми цинку на кривій 1 (рис. 2.4) спостерігається два гострі максимуми. Ці практичні дані повністю узгоджуються з результатами оцінки меж і конфігурації зон конденсації парів цинку на поверхні шматків шихти. Такий характер накопичення цинку відзначений майже у всіх доменних печах ММК.

Форми стану цинку і його кількість у верхньому контурі циркуляції, локалізація в вузькій ділянці висоти шахти (2 ... 3 м) являють собою постійно діючі перешкоди нормальної теплової та хімічної роботі газу в цьому районі печі. Якби питання шкідливого впливу цинку зводилося лише до перевитрати коксу, то гострота проблеми боротьби з ним була б мінімальною і, ймовірно, терпимою, але постійно присутня і циркулююча маса цинку, що реагує на відхилення в режимі роботи печі змінною кількістю і координатами, створює додатковий газодинамічний опір, градієнт якого різко відрізняється за обсягом стовпа шихти, ніж посилюється нерівномірність розподілу газового потоку, внаслідок чого погіршуються умови відновлення оксидів заліза. Це в найбільшій мірі відчутно, якщо плівки оксиду-конденсату утворюються на шматках залізородних матеріалів. При зменшенні ступеня непрямого відновлення процес переноситься в область прямого відновлення, що супроводжується утворенням підвищеної кількості залізистих шлаків. Це, у свою чергу, впливає на газопроникність зони когезії, викликає додаткову витрату коксу і порушення ходу печі.

Близькість області максимальної концентрації цинку до рівня засипу обумовлює високу ймовірність утворення цинкових настилів у верхній частині шахти, на колошнику і в газовідводі. Результати вивчення структури чисто цинкових настилів вказують на те, що основною причиною їх утворення є циркулюючий цинк, а не його природні сполуки, що містяться в шихті.

Кількість цинку в об'ємі печі при питомому приході 0,3 кг/т чавуну складають приблизно 200 ... 240 кг, причому він рівномірно розподілений по всьому об'єму печі. Судячи з балансів, через колошник виходить не більше 30 ... 40%, тобто близько 60 ... 100 кг з одного об'єму шихти. У той же час маса циркулюючого цинку становить 3,0 ... 4,5 т, що в кілька десятків разів вище приходу. Дещо менше співвідношення може бути між пароподібним цинком вторинного і первинного походження, оскільки фактична кількість парів в умовах високошвидкісного руху газів завжди вище рівноважного. Тому при виникненні умов для виходу парів на більш високі горизонти і за межі стовпа шихти переважну їх частку становлять пари з висхідної гілки циркуляції. Такі умови можуть виникати при догляді рівня засипу, непередба-

ченої зупинки печі, неправильному виборі системи завантаження матеріалів і положення рівня засипу.

Накопичення цинку обумовлюється утилізацією шламів доменного та сталеплавильного виробництв, що містять до 45 ... 50% заліза і до 1% і вище цинку. Як показали результати досліджень, ймовірність використання цих шламів знаходиться в прямому зв'язку з умовами формування зони циркуляції і з залежністю від цих умов положення інтегрального максимуму концентрації.

Відомо, що вторинний цинк в доменних шламах знаходиться у вигляді оксиду в основному як механічна домішка до рудної і коксового пилу [23]. При введенні їх у аглошихту і спіканні агломерату ця форма цинку не зазнає змін і відносно легко відновлюється незалежно від ступеня відновлення феритів, силікатів і інших складних сполук цинку. Тому в доменній печі розподіл цього цинку відрізняється від розподілу природного газу тому, що він в основному знаходиться в сухий шахті. Тому зростає ступінь накопичення цинку в шахті печі, а при порушенні її ходу обсяг викидів парів у вільний простір колошника і газовідводів збільшується, і збільшується ймовірність утворення цинкових настилів.

Наведені дані показують, що в доменних печах НТМК і ММК, що мають різний обсяг, проплавляють різну за складом шихту при відмінному режимі доменної плавки, накопичення цинку в десятки разів перевищує прихід його з шихтою. Різниця абсолютного накопичення цинку, положення інтегрального максимуму концентрації щодо рівня засипу в таких умовах закономірно.

Важливою ознакою, що визначає спільність механізмів накопичення цинку, є близькість питомих величин накопичення цинку (25 ... 37 кг/т чавуну) при різному його приході. Це говорить, насамперед, про те, що вміст цинку в шихті не є основним фактором його накопичення і шкідливого прояву, а визначає тільки ймовірність цих явищ. Не весь цинк, що бере участь в циркуляції, є потенційно небезпечним, а тільки та його частина, яка, перебуваючи у вигляді пари, може утворювати рідку фазу. Саме умова утворення рідкої фази цинку і фактори, які створюють ці умови, визначають ймовірність утворення цинкових настилів і конденсатних форм вторинного цинку в зоні циркуляції, характер накопичення його по висоті печі.

На рис. 2.5 представлені результати розрахунків необхідних теплових витрат для нагріву і агрегатних перетворень цинку в зіставленні з теплом реакції $Zn + CO_2 = ZnO + CO$ при різному ступені її розвитку і засвоєнні тепла окислюється частково. Відрізок АТ відображає потребу тепла на нагрів цинку до температури плавлення $419^\circ C$, ТП - на розплавлення, ПЖ - на нагрів рідкого цинку до температури випаровування $907^\circ C$, відрізок ЖИ - на випаровування цинку.

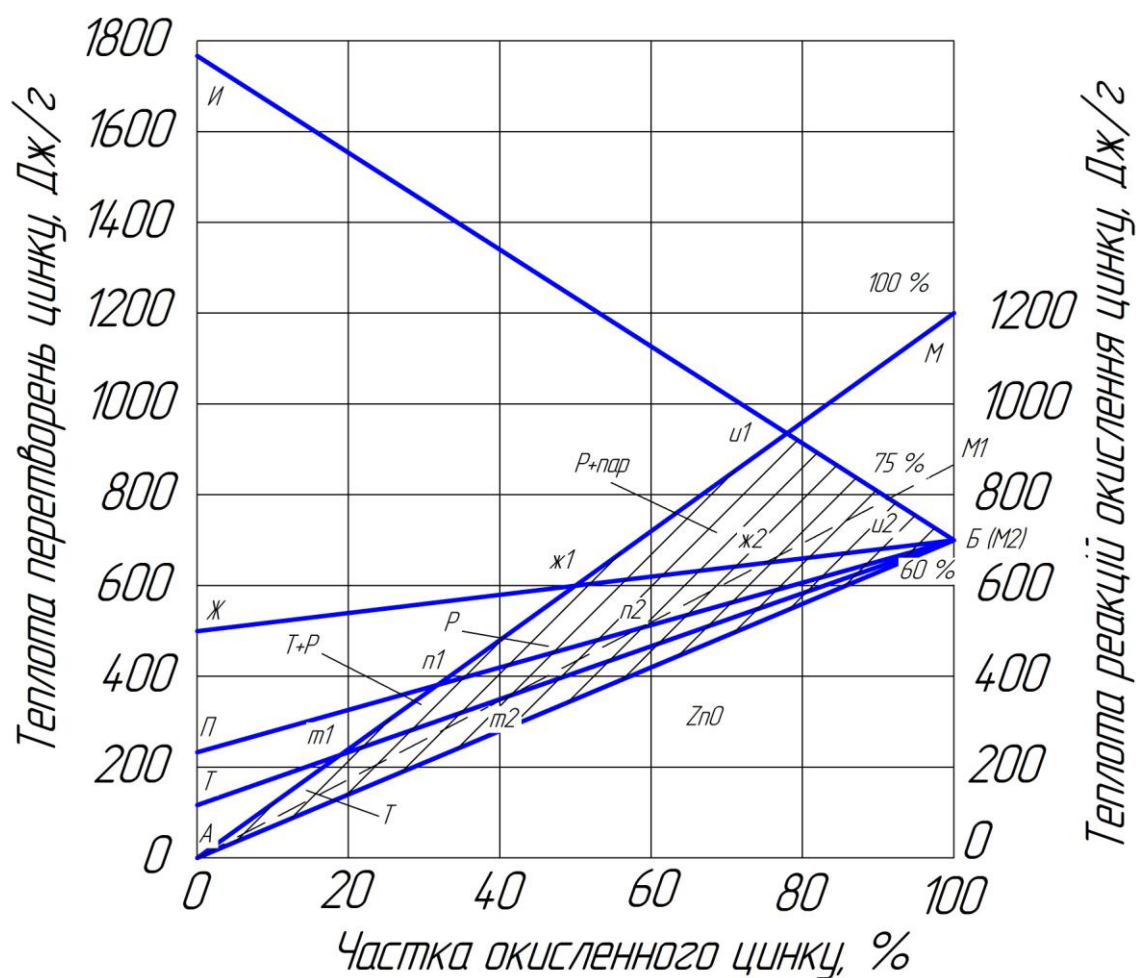


Рисунок 2.5 - Баланс теплоти реакції окислення металевого цинку і його агрегатних перетворень

При втраті маси металевого цинку в ході його окислення витрата тепла на агрегатні перетворення знижується. На графіку він пропорційний відстані між лініями ТБ, ПБ, ЖБ та ИБ на ординаті, відповідного ступеня розвитку реакції окислення. Лінія АБ показує зміну теплотребності на нагрів оксиду, що утворюється до темпе-

ратури 910°C . Лінії AM , AM_1 і AM_2 показують зміну кількості тепла, що поглинається частинкою цинку в ході реакції її окислення при ступені засвоєння тепла відповідно 100, 75 і 60 %. Лінія, яка відповідає 60%, збігається з лінією AB .

Область, розташована вище лінії IB , відповідає існуванню пароподібного цинку, область IJB - рідкого та пароподібного цинку, область JPB -рідкого та область PTB -рідкого і твердого цинку.

Теоретично, при поглинанні часткою всього тепла реакції металевий цинк буде прогрітий до температури плавлення при окисленні 20 % його маси (точка m_1), і повністю розплавлений при окисленні на 24 ... 25 % (n_1). Рідкий цинк нагріється до температури випаровування при окисленні на 50 % ($ж_1$) і перетвориться в пару при завершеності реакції на 78 ... 79 % (точка u_1).

Фактично частинкою поглинається тільки частина тепла, і при засвоєнні його кількості на 75 % (лінія AM_1) відзначеним перетворенням відповідатиме ступінь окислення цинку, обумовлена на графіку точками m_2 , n_2 , $ж_2$, u_2 ; при поглинанні менше 60 % тепла неможливо буде не тільки випаровування, але і розплавлення залишився цинку. Все тепло буде витрачатися тільки на нагрів металу і оксиду цинку.

Наведений розрахунок підтверджує можливість утворення рідкого цинку за рахунок тепла його окислення і розкриває принциповий механізм цього явища. Утворення рідкого цинку всередині оболонки оксиду відбувається зі збільшенням обсягу і тому рідкий цинк може виходити назовні, внаслідок чого частка буде налипати на поверхні шматка шихти, на футеровці або на настилі, що утворилася при конденсації парів (за «першим» шляхом). Як показують дослідження, обсяг «пухкої» частини цинкових настилів порівняємо з об'ємом щільної її частини, тому, при реальності запропонованого механізму, процес окислення металевого цинку в доменних печах має достатньо великий розвиток.

Межею протяжності зони розвитку, розглянутого процесу по висоті шахти і колошника є горизонт з температурою газу 419°C . Облік положення цього горизонту дає можливість визначити умови, коли процес утворення цинкових настилів по «другому» шляху може бути в значній мірі пригнічений. Така міра набуває особли-

вого значення у разі збільшення приходу цинку в доменні печі при утилізації шламів з високим його вмістом.

У доменних шламах цинк знаходиться, в основному, у вигляді вільного дисперсного оксиду, відновлення якого відбувається в значній мірі в сухій частині шахти. Тому утилізація шламів, в першу чергу, позначиться на явища, що відбуваються з цинком в шахті. Через невідповідність реального ступеня протікання цих явищ рівноважної величиною в верхній частині шахти кількість парів, що зберігаються до температури 419 ° С, буде більш високим, відповідно, буде більше розвинений процес утворення металевого цинку.

Розрахунки показали, що для плавлення цинку істотне значення має теплообмін частинки з навколишнім середовищем (зовнішній теплообмін) і розподіл тепла між утвореною оболонкою оксиду і металевим цинком (внутрішній теплообмін), а також ступінь окислення цинку.

Питання утворення цинкових настилів цим шляхом досліджувалося мало і не акцентувалося при виявленні в настилів глобульних часток металу.

2.4. Вплив лужних оксидів на стійкість вогнетривкої кладки

Лужні оксиди містяться в деяких залізних рудах (до 0,6%). При експлуатації доменних печей внаслідок різних розладів їх ходу можливий нерівномірний нагрів окремих ділянок кладки нижній частині шахти, що приводить до утворення тріщин, в які і проникають пари лужних сполук і хімічно взаємодіють з алюмосилікатними вогнетривкими матеріалами, утворюючи лужні алюмосилікати. У футеровці шахти їх може бути до 8-10%.

Механізм руйнування вогнетривкої кладки пов'язаний з циркуляцією лужних металів та їх сполук у печі. У зонах високих температур при наявності вуглецю луги відновлюються, К і Na у вигляді пари разом з іншими газами піднімаються вгору і при температурі менше 900°C реагують з футеровкою, утворюючи сполуки типу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$ щільність яких приблизно на 45% менше, ніж у вогнетривкої футеровки. У результаті зміни обсягу прореагованої частини футеровки між нею і

рештою маси виникають напруги, змінена частина сколюється, а незмінна частина знову вступає в реакцію.

Найбільш дієвим способом боротьби з хімічним роз'їданням вогнетривкої кладки є застосування тонкостінного футерування печей з посиленням охолодженням. Підвищенню стійкості вогнетривкої кладки сприяє також застосування карбідокремнієвих вогнетривів. Їх лугастійкість в 5-10 разів більше, ніж шамотних.

Луги шляхом інфільтрації і дифузії проникають не тільки в алюмосилікатні вироби, а й в вуглецеві блоки поду і горна викликаючи їх розбухання. Луги в умовах доменної печі руйнівні діють на вуглецеву цегла вже при 850 °С. Атоми лужних металів (K, Na) впроваджуються в площині кристалічної решітки графіту або вуглецю. Збільшення обсягу вуглецю викликає механічне пошкодження блоків, яке виражається в утворенні дрібних тріщин. Найбільш агресивним є K_2CO_3 .

Доменна плавка цинковмісних руд та агломерату, супроводжується відкладенням в шахті печі цинкових настилів. При 650 ... 800 °С утворюється сплав заліза з цинком, проникаючий в шви і тріщини футеровки печі. Охолодження кладки нижче 647 °С викликає затвердіння цього сплаву, що відбувається зі збільшенням обсягу. Збільшення обсягу сплаву створює розпираючі зусилля в кладці, що є причиною утворення додаткових тріщин. Багаторазове повторення цього явища веде до зростання кладки і розриву кожуха печі. Найбільш схильна до дії цинку нижня частина шахти, але розрив кожуха відбувається зазвичай у верхній, менш міцній частині шахти печі. Максимальна кількість цинку (в металевій формі) відкладається в нижній частині шахти доменної печі, у верхній частині кладки шахти цинк знаходиться у формі кристалічного оксиду - цинкіту.

Вплив K_2O і ZnO на розширення шамотної цегли в атмосфері CO показано на рис. 2.6, з якого випливає, що проникнення лугів збільшує коефіцієнт розширення в 2 рази і більше. Таке аномальне розширення призводить до роздавлювання і до розтріскування виробів під дією високих напруг, що стає причиною випадання цегли з кладки.

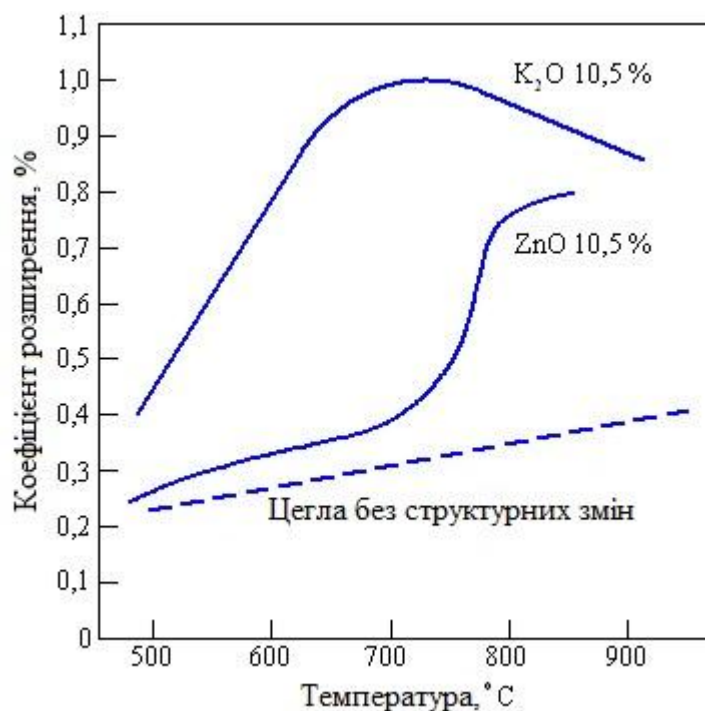


Рисунок 2.6 - Вплив K₂O і ZnO на розширення шамотної цегли в атмосфері CO

Особливо несприятливий вплив на показники плавки і стан печі надають лужні компоненти, що знаходяться в коксі (рис. 2.7 і 2.8). З нагрітих в фурменій зоні до температури > 1800 °C шматків коксу практично випаровуються всі сполуки лужних металів. Летючі різновиди лугів різко посилюють процес розупорядкування коксу під впливом газової середовища при високій температурі, що призводить до руйнування коксу, утворенню настилів і захаращення горна. Як видно, збільшення концентрації K₂CO₃ в коксі призводить до посилення всіх фізико-хімічних ефектів реакцій (з киснем, вуглекислою, оксидами металів), що протікають на поверхні коксу. Крім того, під впливом лугів у дослідженому діапазоні стиранисть коксу збільшується на 13 ... 16%, а дробильність - на 3 ... 5% за рахунок переважно поверхневого розміцнення шматків коксу, що призводить до різкого зниження механічної міцності коксу в високотемпературній зоні.

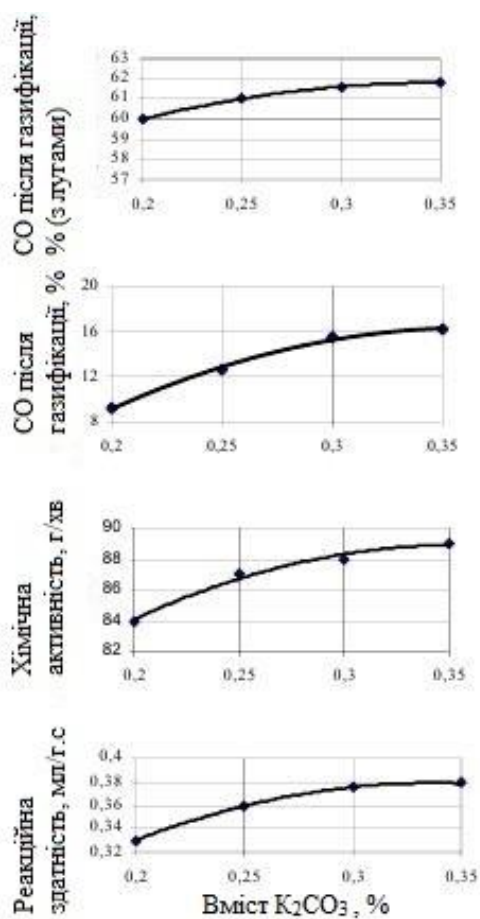


Рисунок 2.7 – Зміна фізико-хімічних характеристик коксу під впливом K_2CO_3

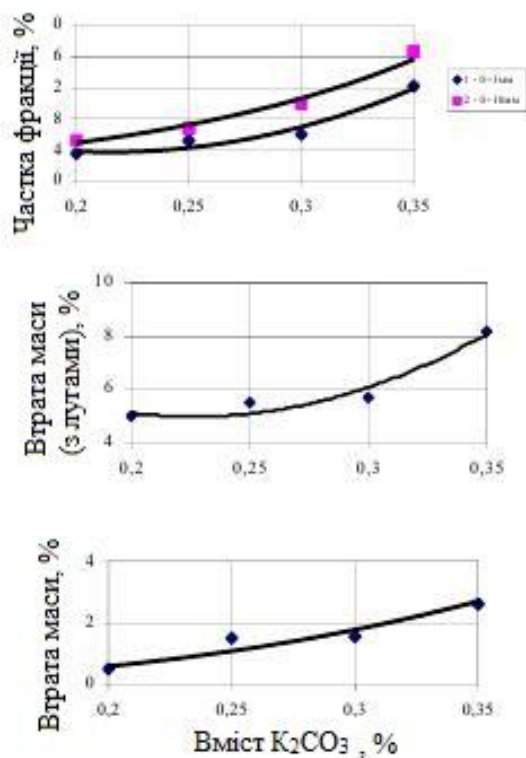


Рисунок 2.8 - Вплив луку на втрату маси коксу і його термоміцність

2.5. Технологічні та технічні прийоми видалення цинку з доменної печі

По спрямованості впливу вони можуть бути розділені:

- Спосіб зниження концентрації цинку у верхньому контурі циркуляції шляхом опускання рівня засипу шихти до горизонту з температурою газу 600 ... 650 ° С з метою переривання переходу висхідної гілки циркуляції в спадну. Цинк по висхідній гілці виноситься з печі газовим потоком.
- Спосіб зниження концентрації цинку у верхньому контурі циркуляції з попереднім формуванням шару матеріалів зі зміненими фізичними, теплофізичними і газодинамічними властивостями, з подальшим опусканням рівня засипу трохи нижче горизонту інтегрального максимуму концентрації цинку («суха» продуванні з використанням коксу).
- Спосіб зниження концентрації цинку у верхній частині стовпа шихти, аналогічно способу «сухий» видувки з використанням коксу, де частина (до 70%) коксу замінюється рівним об'ємом фракціонування шлакового щебеню («суха» продуванні з використанням шлакового щебеню).

До другої групи відноситься спосіб підвищення виходу цинку через льотки.

Він полягає в навмисному створенні умов для підвищення виходу цинку з льоток шляхом зміни параметрів комбінованого дуття.

Третю групу склали:

- Спосіб зниження концентрації парів цинку в шарі шихти на горизонті з температурою газу 600 ... 650 ° С, характерною для утворення рідкої фази цинку. Полягає у введенні в зону холодного газоподібного окислювача через вертикальні зонди.
- Спосіб зниження концентрації окислених парів цинку у вільному просторі колошника і газовідводів. Полягає в безперервному або епізодичному введенні в простір колошника холодного пилу, частинки якої служать центрами конденсації парів. При попаданні в піч пил відразу ж виноситься з неї газовим потоком.

У четверту групу увійшли способи зниження ступеня накопичення цинку в робочому просторі печі:

- Спосіб зниження і вирівнювання концентрації цинку в робочому просторі доменної печі шляхом організації випусків рідких продуктів плавки за гнучким графіком. Полягає у впливі на процеси, що протікали в шахті печі рівномірним орієнтованим звільненням горна від розплавів;
- Спосіб зниження концентрації і вирівнювання накопичення цинку за обсягом печі шляхом організації випусків розплавів чавуну і шлаку з урахуванням теплового стану горна в районі льоток за ступенем відбирання тепла льоточними холодильниками;
- Спосіб запобігання наслідкам перерозподілу цинку і його накопичення у верхньому шарі шихти при тривалих стоянках доменних печей або тривалих розладах їх ходу.

Найбільшого поширення у фахівців отримало використання «сухого» задування.

Інтегральний максимум концентрації (ІМК) у верхньому контурі циркуляції розташовується на відстані 3 ... 8 м від цього рівня. Звільнення робочого простору печі при опусканні рівня перериває перехід значної частини цинку в спадну гілку потоку циркуляції, і цей цинк виходить через колошник. Для того, щоб знизити кількість цинку в області між горизонтом ІМК і нижньою межею зони циркуляції, тут формується шар матеріалів із зміненими газодинамічними властивостями. Для цієї мети було запропоновано використовувати кокс фракції 40 ... 60 мм. Перевага коксу перед залізорудними матеріалами полягає в тому, що теплотребності його маси приблизно в два рази нижче теплотребності залізорудних матеріалів того ж об'єму. Підвищення температури коксу як середньомасовою, так і на поверхні відбувається швидше, і процес конденсації парів цинку на ній розвинений в меншій мірі і за менший період часу. У фахівців доменщиків цей спосіб отримав назву «сухе» продування. При його використанні забезпечується зниження витрати коксу на 4-17 кг/т. Така економія коксу раніше могла бути досягнута, але при використанні складного по виконанню, більш тривалого способу опускання рівня засипу шихти на 10 - 12 м, який, по суті, є початковою стадією видувки доменної печі з усіма її особливостями.

Однак, незважаючи на переваги, цей спосіб також має низку недоліків, що не дозволяють досягти більш високої ефективності видалення цинку з печі: на його реалізацію потрібна значна, до 90 ... 100 т, додаткова витрата дефіцитного коксу, і тому окупність його становить до 7 ... 8 доби; обмеження в тривалості видалення цинку, так як при більшому обсязі шару, в якому споживачем тепла є тільки сам кокс, в печі з'являється надлишок тепла, що обумовлює зміну дуттьових параметрів на 3 ... 4 год.; це обмежує кількість коксу, яке можна одноразово завантажити в піч; незважаючи на високий ступінь зміни характеру порозності, створюваної фракціонованим коксом, ефективність видалення цинку знижується внаслідок неусувно високого осадження дисперсного оксиду в порах шматків коксу.

Ці недоліки способу видалення цинку зумовили пошук матеріалів, якими на певний період можна замінити в шихті як залізородні матеріали, так і частина коксу, забезпечуючи не менший розмір між шматковими пустотами в шарі без порушення теплового балансу процесу. У найбільшій мірі цим умовам відповідає щебінь, одержуваний з доменного шлаку. Стосовно до «сухий» видувці, шлаковий щебінь володіє перед коксом рядом переваг: хімічний склад шлаку не вимагає коректування складу шихти; шматки шлаку нагріваються швидше, і температура поверхні наростає з більш високою швидкістю, що знижує час існування ТПК парів і тривалість процесу їх конденсації; дисперсний оксид не осаджує на шматках щебеню через низьку його пористість; шлаковий щебінь можна завантажувати в піч необмежено, при цьому зміна теплового балансу доменного процесу мінімально.

2.6. Метод обвалення настилів за допомогою суміщення теплового і механічного удару

Аналізуючи причини утворення настилів і способи їх видалення і виходячи з позицій запобігання захаращення горна і збереження якості чавуну, можна зробити висновок, що необхідний спосіб виявлення і зняття настилів в початковий період їх формування і бажано на повному ході доменної печі.

Як уже зазначалося, однією з причин захаращення периферії горна неплавкими

масами, є неконтрольоване сповзання настилів (гарнісажу) нижніх горизонтів шахти і заплічок. Непідготовлений горн при цьому не справляється з підвищеною теплонеобхідністю, і настилі, як правило, перетворюється на неплавким масу, що налипає на його стіни. Безумовно, втрати обсягу горна, продуктивності печі і погіршення якості чавуну можуть бути меншими, коли гарнісаж примусово опустити в горн, попередньо вживши заходів щодо підвищення теплової потужності горна.

З цією метою використовувався відомий метод боротьби з нижнім підвисанням шихти при утворенні склепінь через перехід шлаку в нижніх горизонтах шахти і заплічок в дуже в'язке або зовсім неплавкий стан. Як відомо, технологічний прийом ліквідації нижніх підвисань полягає в тому, що шляхом зниження температури дуття і (або) концентрації кисню в ньому змінюють температурне поле по висоті печі, знижуючи температури на рівні фурм і підвищуючи їх в заплічках, розпарі і внизу шахти. Логічно чекати, що такий режим повинен привести і до сповзання гарнісажу через його часткове плавлення.

Перевірка способу була здійснена на доменній печі об'ємом 2700 м³ «Арселор-МітталКривийРіг», на якій виявили початок утворення настилію.

Хід і результати її наведено на рис. 2.9 і 2.10. З рис. 2.9 видно, що, починаючи з 1-ї по 5-у добу, поступово знижували концентрацію кисню в дутті із 29% до 21%. Одночасно дещо знизили і витрата природного газу, щоб не допустити великого збільшення виходу горнового газу на 1 тонну коксу, що доходить до фурм і, тим самим, збільшити напруженість газодинамічного режиму доменної плавки. У ранковій зміні на шосту добу була різко знижена температура дуття (з 920 до 700 ° С) і підвищена витрата коксу. Витримавши такий режим протягом доби, встановили колишній рівень по температурі дуття і поступово відновили колишню концентрацію кисню і витрата природного газу.

Про позитивний ефект вжитих заходів свідчить поліпшення роботи печі, починаючи з сьомої доби (рис. 2.9). Піч стала більше приймати дуття, підвищилася продуктивність, знизилася питома витрата коксу. Крім того, візуальні спостереження за ходом випусків показали, сповз гарнісажу не затримався в горні і вийшов разом зі шлаком і коксівним "сміттям". Однак через тиждень робота печі знову дещо погіршилася,

так як утворення настилів на цій печі мало стійкий характер.

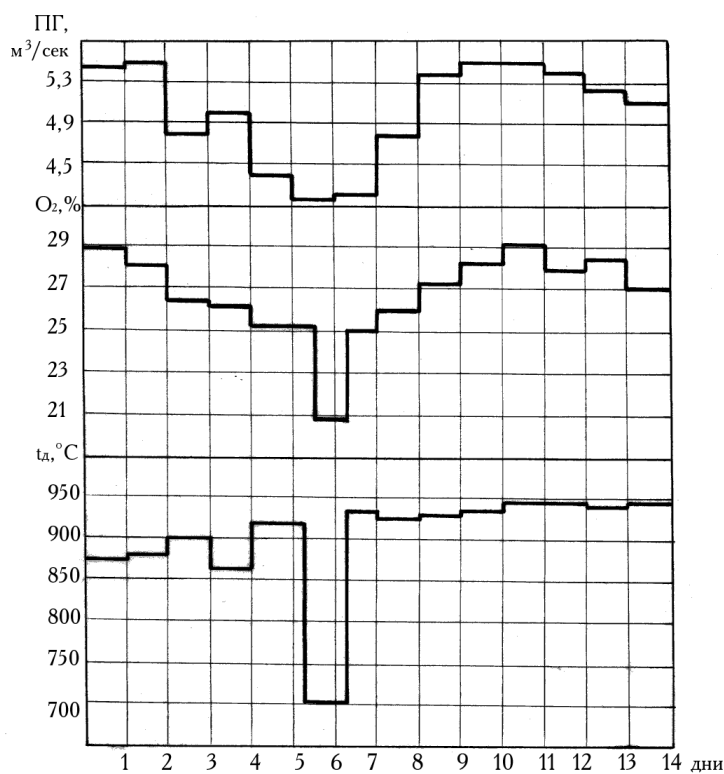


Рисунок 2.9 - Зміна витрати природного газу (ПГ), вмісту кисню в дутті (O₂) і температури дуття (t_д) на доменній печі об'ємом 2700 м³ при знятті настилів з заплічників печі

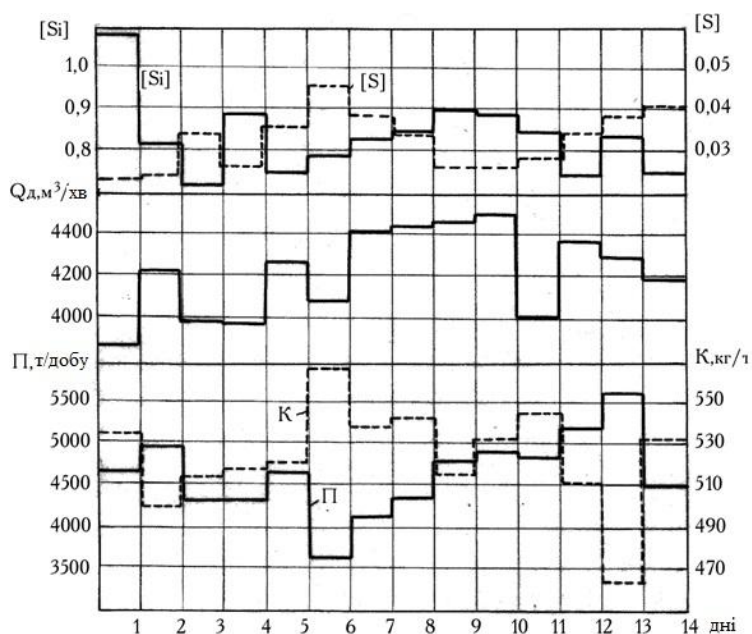


Рисунок 2.10 - Зміна вмісту кремнію [Si] і сірки [S] в чавуні, витрати дуття (Q_д), продуктивності (П) і питомої витрати коксу (К) на доменній печі об'ємом 2700 м³ при знятті настилів з заплічників печі

Розроблено та випробувано також метод обвалення настилів зі стін шахти на повному ході доменної печі. Зазвичай для обвалення настилів зі стін шахти методом вибуху необхідна стоянка печі 5 ... 6 змін. Методи, запропоновані в роботах [35, 36], передбачають роздільну подачу холодоагенту на настилі або скидання на нього важкого матеріалу і вимагають значного числа скидань, так як матеріал з великою питомою вагою, ніж доменна шихта, руйнує настилі поступово, відколюючи невеликі шматки з його поверхні; а дуже важкий по масі матеріал може разом з настилів зруйнувати і футеровку печі.

Аналогічна ситуація має місце і при подачі на настилі холодоагенту. Відомо, що при виникненні контакту нагрітого тіла з холодоагентом поверхню нагрітого тіла піддається тепловому удару. Виникають теплові напруги, діючі не тільки на поверхню тіла, але і проникаючі в його товщу, які через час, обчислювані частками секунди, загасають, а залишкові теплонапружені - на порядок нижче, ніж напруги теплового удару (початкові напруги). Тобто, необхідно багаторазове повторення нагрівання та охолодження настилів, щоб напруги теплового удару зруйнували настилі, а це вимагає тривалих зупинок печі, що знижує техніко-економічні показники її роботи.

Недоліки, властиві обом методам, можна усунути, якщо поєднати дві дії, - тепловий та механічний удари на настилів. У зв'язку з викладеним, пропонується наступна методика зняття настилів з верхніх горизонтів шахти доменної печі.

Реєструють момент початку утворення настилю, наприклад, щодо зниження температури окремих точок на 4-му горизонті шахти печі, щодо інших, і повній відсутності реакцій цих точок на мінливі теплові потоки, на відміну від оперативних змін показань інших точок.

Потім без зміни режиму комбінованого дуття на повному ході печі знижують рівень засипу шихти в доменній печі нижче рівня настилю (можна знижувати рівень засипу до 7 ... 8 м без зняття дуття), періодично довантажують піч до готовності і набору на великому конусі подачі матеріалу з великою питомою вагою, ніж доменна шихта. Таким матеріалом може бути, наприклад, зварювальний шлак шматками 80 ... 120 мм або злитки чавуну.

Потім подають на настилі холодоагент, наприклад, воду з системи водоводів і форсунок на куполі печі, призначених для зниження температури колошникового газу, і одночасно скидають з великого конуса подачу приготованого важкого матеріалу. Поєднуючи термічний і механічний удари, обрушують настилі. Ця методика була випробувана на доменній печі об'ємом 2700 м³ «АрселорМітталКривийРіг», на якій встановили момент утворення настилу.

Тривалий час показання термопар №7, 8 і 9 четвертого горизонту шахти печі (рис. 2.11) показували 540 ... 600 °С, що нижче показань інших термопар (всього 12 по окружності печі), але крім цього, показання цих термопар не змінювалися в часі на відміну від показань інших термопар.

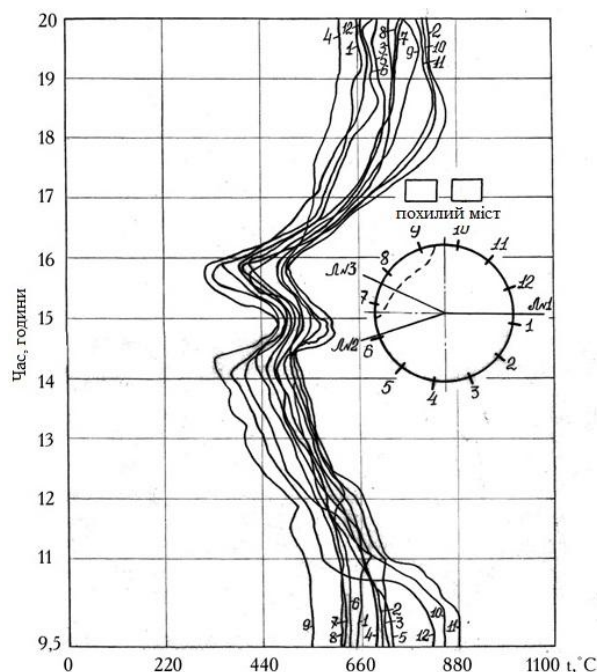


Рисунок 2.11 - Діаграма зміни показань термопар 4-го горизонту на доменній печі об'ємом 2700 м³ в період зняття настилів під захисними плитами колошника

Доменна піч працювала в наступному режимі: витрата дуття - 4650 м³/хв, тиск дуття - 300 кПа, витрата кисню - 26000 м³/год, витрата природного газу на піч - 19000 м³/год, система завантаження - КАКА ↓ - 3 подачі, ААКК ↓ - 2 подачі і рівень засипу - 2,25 м. Підготували зварювальний шлак крупністю шматків 80-120 мм. Знизили рівень засипу до 7,0 м нижче рівня настилу, періодично довантажуючи піч звичайними подачами (кокс - 12,4 т, агломерат - 36,4 т, окатиші - 36,4 т).

Потім завантажили п'ять холостих подач по системі КККК ↓ і завантажили на великий конус подачу зварювального шлаку - 76 т. Відкрили подачу води на 20 хв з витратою 60 м³/год і дали команду на опускання великого конуса - скинули на настилі підготовлену важку подачу.

Цю операцію повторили двічі, але скинули більш легкі подачі по системі СшСшКК по 38 тонн зварювального шлаку (Сш), щоб не зруйнувати кладку печі. Видалили настиль, що зафіксували практично всі термомпари 4-го горизонту після першої важкої подачі і особливо термомпари №7 та 8 шляхом стрибкоподібного збільшення показань температури (кидок вправо рис. 2.11). Подачу води включали перед кожною з трьох подач зварювального шлаку, а потім відключали. Відразу ж стали довантажувати піч до рівня засипу 2,25 м (звичайний режим). Після зняття настилю в районі точок №7-9 і виходу режиму завантаження на заданий рівень, показання цих термомпар вирівнялися і піднялися до 700 ... 715 ° С. Всі вони в подальшому стали оперативно реагувати на зміни загального рівня температур.

Факт обвалення настилю був зафіксований і збільшенням вмісту сірки в чавуні. Так, у наступних випусках [S] зросла з 0,038 до 0,062%, що значно вище рівня підйому вмісту сірки в чавуні навіть при завантаженні в піч великих кількостей зварювального шлаку.

2.7. Дослідження «гвинтового» способу завантаження доменної печі

При існуючому способі подачі шихтових матеріалів на доменних печах, які обладнані скіповим підйомником і конусним засипним апаратом, у воронку малого конуса матеріали розташовуються нерівномірно, що призводить до настилеутворення. Тому, нецентральне вивантаження матеріалів з скіпів вимагає установки над чашею великого конуса розподільника шихти, що обертається (ОРШ).

Рівномірним або певним чином направлене розміщення шихти досягається лише при певному режимі роботи ОРШ, який залежить перш за все від конструкції приймальної воронки і фракційного складу агломерату, зокрема, від кількості дрібної фракції < 5 мм. Найбільш поширеною є робота на шість станцій розподільника.

Розташування матеріалу на колошнику за один повний цикл утворює «виток». У основі «гвинтового» завантаження лежить ідея циклічності, мета якої – рівномірно по колу колошника розподілити нерівномірність, яку створюють конструктивні особливості засипного апарату.

Повний цикл «витків» завантаження включає ту найменшу кількість подач, при якій забезпечується рівномірний розподіл шихти по колу печі на певній ділянці її висоти. Кількість подач в повному циклі залежить від вибраної системи завантаження і числа станцій роботи ОРШ. Із збільшенням кількості повних циклів завантаження розподіл шихтових матеріалів по колу печі стає більш рівномірним.

Циклічні системи завантаження успішно використовуються як при малокомпонентній, так і при багатоконпонентній шихті.

Найбільш поширеною є циклічна система типу $mAAKK\downarrow + nKAAK\downarrow$, здійснювана таким чином: при вивантаженні матеріалу кожного скіпа першої подачі з малого конуса на великій лійка не обертається; при вивантаженні кожного скіпа другої подачі перед опусканням малого конуса приймальна лійка повертається на 60° .

Аналогічно здійснюється вивантаження наступних подач до закінчення завантаження першого циклу. Наступна подача є першою в новому циклі. Рудний гребінь цієї подачі розташовується строго над рудним гребенем першої подачі попереднього циклу, який в процесі доменної плавки опустився на певну глибину, пропорційну швидкості опускання шихти.

Дослідження роботи доменних печей при розглянутих способах завантаження показали, що нерівномірність завантаження матеріалів повністю не усувається.

Для промислового випробування запропонованого способу завантаження була вибрана доменна піч ПАТ «Запорозсталь» після капітального ремонту I розряду корисним об'ємом 1513 м^3 і об'ємом до осі повітряних фурм 1300 м^3 , яка мала якнайкращі техніко-економічні показники з наступними параметрами завантаження:

- а) маса залізородної частини - 22,0 т/подачу
 - в т.ч. агломерату - 19,5 т/подачу
 - окаток – 2,0 т/подачу
 - залізної руди – 0,5 т/подачу

маса коксової частини - 5,7 т/подачу
 маса добавок: вапняку - 0,6 т/подачу
 шлаку SiMn – 0,2 т/подачу
 металодомішок – 0,6 т/подачу;

б) порядок завантаження матеріалів в циклі:

ААКК↓_{1,25} – 3 подачі

КААК↓_{1,25} – 2 подачі;

в) кількість станцій ОРШ – 6 (через 60°).

Об'єм однієї подачі розраховується за виразом:

$$V = \left(\sum_{i=1}^n M_i \gamma_i \right) 0,86 \quad (2.1)$$

де V - об'єм однієї подачі, м³;

M_i - маса матеріалу в подачі, т/подачу;

γ_i - насипна маса матеріалу, м³/т;

0,86 - коефіцієнт «уминки» матеріалу.

Для приведених вище шихтових умов об'єм однієї подачі $V=21,51$ м³. Отже, кількість подач до осі повітряних фурм складає: $1300 : 21,51 \sim 60$ подач.

Запропоноване «гвинтове» завантаження відрізняється від розглянутої вище тим, що кут повороту розподільника шихти для кожного подальшого циклу подач змінювали на величину α , яка визначається за виразом:

$$\alpha = 360/2(n + 1) \quad (2.2)$$

де n – кількість станцій роботи розподільника шихти.

Кут повороту складав $\alpha = 30^\circ$.

Роботу розподільника шихти здійснювали у вигляді циклів:

1 цикл: $0^\circ 60^\circ 120^\circ 180^\circ 240^\circ$

2 цикл: $30^\circ 90^\circ 150^\circ 210^\circ 270^\circ$ і так далі

Завантаження проводили таким чином: шихтові матеріали в порядку, заданому системою завантаження, завантажували у воронку малого конуса з поворотом розподільника шихти на кут, який визначається кількістю станцій роботи розподільника (n) і рівним 60° , вивантажували шихту на великий конус і далі на колошник доменної печі.

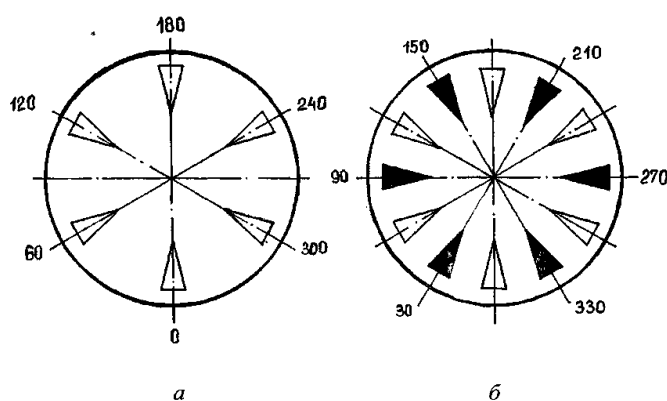
Для завантаження наступного циклу подач кут повороту розподільника шихти змінювали на величину $\alpha = 30^\circ$ від попереднього. Далі завантаження шихтових матеріалів здійснювалося аналогічним чином.

При вдосконаленому способі «гвинтового» завантаження повна спіраль шихти формується з 12 циклів (60 подач), яка повністю займає об'єм печі до осі повітряних фурм.

Схема розподілу матеріалів при їх завантаженні запропонованим способом представлена на рис. 2.12.

Порівняльні техніко-економічні показники роботи доменної печі в базовий і досвідний періоди тривалістю 1 місяць кожен приведені в табл. 2.2.

Дослідження показали, що завантаження шихтових матеріалів запропонованим способом дозволяє формувати рудний гребінь із заданого циклу подач у вигляді спіралі, що дозволяє досягти найбільш рівномірного розподілу газового потоку по перетину і висоті доменної печі, збільшення ступеня використання теплової і хімічної енергії газу на 4,4 %, поліпшення ходу печі, зниження витрати коксу на 2,1 % і підвищення продуктивності на 4,3 %.



a – першого циклу подач, b – першого і другого циклів подач; Δ - гребінь матеріалів подач першого циклу, \blacktriangle - гребінь матеріалів подач другого циклу

Рисунок 2.12 – Схема розподілу рудних гребенів матеріалів при завантаженні

Таблиця 2.2 – Техніко-економічні показники роботи доменної печі в базовий і дослідний період

№ п/п	Показники	Періоди		Зміна
		Базовий	Дослідний	
1	Витрати коксу, кг/т чавуна			
	- фактична	519	498	-21
	- приведена		508	-11
2	Продуктивність, т/добу	2361	2642	+ 281
3	Витрати дугтя, м ³ /хв.	2766	2714	-52
4	Вміст Fe в ЗРЧ, %	56,13	55,79	-0,34
5	Ступінь використання газу, %	46,7	51,1	+ 4,4
6	Витрати природного газу, м ³ /т	77	119	+ 42
7	Витрати кисню, м ³ /т	5	93	+ 88
8	Кількість випусків чавуну, які вкладаються в межі:			
	- по кремнію 0,6...0,9 %	58,7	61,5	+ 2,8
	- по основності шлаку 1,21...1,25 од.	27,6	43,3	+ 15,7
9	Вміст кисню в дутті, %	21,2	25,0	+ 3,8
10	Зміна інтенсивності ходу по дутті і кисню, %			+ 4,97

2.8 Вплив футерівки на процес шлакоутворення

Утворення настилю ускладнюють обслуговування печі, а іноді призводять до передчасного закінчення кампанії. У цьому досліджено причини утворення настилю та заростання печі шлаком, а також вплив технологій виготовлення футеровки та плавки чавуну на утворення настилю, шлаку та зносостійкість.

Футерування печі в процесі експлуатації зазнає термічних, механічних та хімічних впливів з боку шихти, розплавленого металу. Зміна температури розплаву та градієнта температур створює багаторазові розширення, що призводить до утворення тріщин та руйнування футерування. В результаті термічного впливу виникає напружений стан футерування у всіх трьох вимірах, найбільш небезпечними з яких є напруги вздовж осі, так як вони врівноважуються в основному власною масою футерування [51-54]. У шлаковому поясі утворюються кільцеві та осьові тріщини. При плавці чавуну в цій частині тигля відбувається утворення настилю. Ця зона футерування піддається впливу шлаку протягом більшої частини кампанії печі,

Рентгенограми зразків настилі і футерування з окремих зон, знімали на

автоматичному рентгенівському дифрактометри ARLX-TRA. Кількісний аналіз компонентів цих зразків та зразків шлаку визначали на рентгенофлюоресцентному спектрометрі «ARL Advant X». Кампанія печі була зупинена не через знос футерування, а через утворення настилі і заростання шлаком.

Зразки з настилі, що утворилася були піддані рентгенофазовому аналізу (рис. 2.13). Складові настилі - корунд, магнезіоферит, карбіди заліза і кремнію, як високовогнетривкі матеріали, при плавці чавуну не розплавляються і залишаються на стінках тигля, створюючи настиль. Під дією високих температур футерування набуває зональної будови (рис. 2.14). Контакти з металом і шлаком зона футеровки має оплавлену поверхню з різною кількістю пор і раковин, що збільшує поверхню взаємодії футеровки з розплавом і шлаком. Дані рентгенофазового аналізу зразків із контактної зони футерування (рис. 2.15) вказують на наявність у ній кристобаліту, тридиміту, аморфної фази та корунду, а також силікатів заліза, магнію та марганцю.

За результатами рентгенофазового аналізу у контактній зоні відзначається взаємодія оксидів заліза, марганцю, алюмінію, магнію, а також вуглецю. Робоча зона, забарвлена в темний колір (див. рис. 2.16), найбільш щільна і міцна порівняно з перехідною зоною, в якій спостерігаються менше спікання зерен та вища пористість. З результатів рентгенофазового аналізу зразків із цієї зони можна зробити висновок про те, що її основною фазою є кварц; є кристобаліт і в незначній кількості тридиміт, а також аморфна фаза (рис. 2.16). Зовнішній шар футерування (див. рис. 2.14), складається з окремих неспечених зерен матеріалу і служить теплоізоляційним шаром тигля.

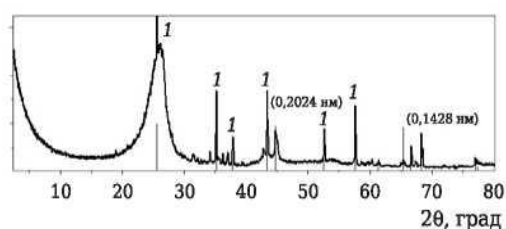


Рисунок 2.13 - Дифрактограма зразка настилі на контакті з металом і шлаком (гарячий край): 1 - корунд; 0,2024 нм та 0,1428 нм - лінії заліза; присутня аморфна фаза



Рисунок 2.14 - Фрагмент футерування: 1 - робоча зона; 2 - перехідна зона; 3 - найменш змінена зона

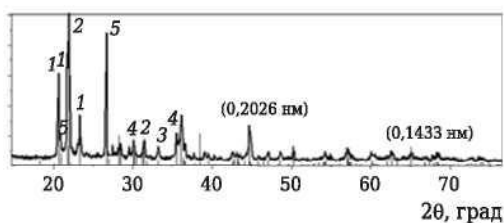


Рисунок 2.15 - Дифрактограма зразка настилі (холодний край, на кордоні з робочим шаром футерування 2-80 °): 1 - тридиміт; 2 - кристобаліт; 3 - енстатит; 4 - магнезіоферит; 5 - кварц; 0,2026, 0,1433 нм - лінії заліза

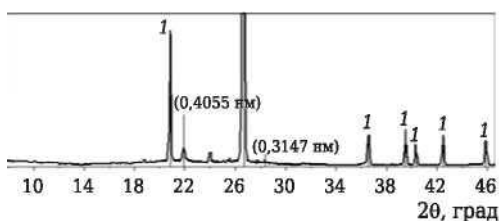


Рисунок 2.16 - Дифрактограма зразка від гарячого краю перехідної зони: 1 – кварц; 00-004-0379, 0,4055 та 0,3147 нм - лінії кристобаліту. Крім того, є аморфна фаза (від 14 до 30 град)

Волога в шихті призводить до окислення її компонентів, а за високих температур волога розкладається на водень і кисень. При нагріванні відбувається

також випаровування вологи з пошуком найбільш доступних шляхів проникнення пари і продуктів розкладання вологи через рідкий метал і футерування, тому щільний робочий шар футерування повинен перешкоджати проникненню компонентів плавки всередину і просоченню його стінок реагентами плавки.

Процес взаємодії вогнетривів зі шлаком включає просочення, змочування та розтікання, розчинення, хімічні реакції. На роз'їдання вогнетривів шлаками значно впливає пористість зв'язування вогнетривкового матеріалу. Зв'язка розчиняється шлаком, що проходить по порах. Великі зерна вогнетриву вимиваються за рахунок ерозії. Оксиди заліза, марганцю, магнію та інших компонентів взаємодіють з кремнеземом футерування і утворюють складні, менш вогнетривкі, ніж сам кварцит, сполуки (силікати).

Хімічна дія на футерування пов'язана з в'язкістю шлаку, температурою і складом металу і шлаку. Шлаки утворюються в процесі плавки металу, стикаючись з футеруванням, вступають з нею в хімічну взаємодію. При цьому переважають хімічні реакції, а процес визначається швидкістю дифузії та хімічної взаємодії. Роз'їдання стінки тим менше, чим ближче шлак по хімічному складу до футерувального матеріалу. З підвищенням температури склад шлаку змінюється (див. таблицю).

Таблиця 2.3 - Зміна складу шлаку під час перегріву

Температура, °C	Кількість складових шлаку, %			
	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃
1400	73,90	9,07	3,26	3,07
1500	79,78	3,31	1,92	8,24

На збільшення обсягу та зміну складу шлаку впливає температура розплаву. Відомо, що зі зниженням щільності та збільшенням пористості футерування проникнення шлаку в вогнетрив різко зростає, в той же час проникнення шлаку в вогнетрив різко знижується зі збільшенням в'язкості шлаку і зменшенням розміру пор футерування.

Під час проведення плавки слід приділяти увагу в'язкості шлаку. При високій в'язкості її необхідно знижувати введенням плавикового шпату, застосовувати відновлювальні суміші, що містять шлам карбїду кремнію, силікокальцій замість феросиліцію, використовувати додаткову частину карбюризатора для переведення закисного та окисного заліза в метал, зменшуючи кількість шлаку і регулюючи його в'язкість.

Проведене дослідження дозволяє зробити такі висновки:

- настиль складається з кремнезему футеровки, корунду, карбїдів заліза та кремнію, енстатиту, оксидів заліза та їх силікатів;
- найбільш шкідливий вплив на процес утворення настилю та шлакоутворенню надають глинозем та оксиди лужних металів. Оксиди лужних металів підвищують кількість шлаку і знижують вогнетривкість футерування, сприяючи отриманню легкоплавких сполук;
- взаємодія розплаву і шлаку з футеровкою посилюється від інтенсивного перемішування розплаву, збільшення контактної поверхні реагентів, в'язкості розплаву і шлаку, ерозійного впливу зважених в розплаві абразивних частинок. Пори та тріщини на контактній поверхні футерування сприяють роз'їданню;
- наявність настилю ускладнює обслуговування печі, а часом призводить до передчасного закінчення кампанії.

2.9 Нові процеси виведення цинку з циклу «аглофабрика - доменна піч»

У чорній металургії України збільшується частка металобрухту, що переробляється в сталеплавильному виробництві, в якому постійно збільшується вміст кольорових металів. Це є однією з причин обмеження утилізації сталеплавильних пилів та шламів в агломераційному виробництві, через що вони здебільшого складаються в шламонакопичувачах, що серйозно погіршує екологічну обстановку, а дефіцитні мінеральні ресурси використовуються нерационально. При цьому організовуються техногенні родовища відходів цинку. Загальні ресурси цинку на металургійних підприємствах України, а також у цинквмісних шламах становлять близько 75

тис. т. Цинк знаходиться в шламах у вигляді оксидів та інших складних сполук. Ці ресурси щороку збільшуватимуться на 13 тис. т.

Шкідливий вплив цинку на доменний процес і стан печей було відзначено ще наприкінці XIX століття. Вже тоді було відзначено циркуляцію цинку у робочому просторі печей. Висновки за результатами численних досліджень, в основному, можуть бути сформульовані в наступному вигляді:

- Існує зона циркуляції цинку в робочому просторі доменних печей. Вміст цинку в цій зоні в десятки разів перевищує його вихідну концентрацію в шихтових матеріалах;
- цинк може відігравати значну роль у зростанні вогнетривкої кладки, її руйнуванні та розриві кожухів доменних печей;
- видалення цинку з доменної печі з чавуном і шлаком при нормальному її ході ;
- основна маса цинку (до 90-95%) видаляється через колошник з газом;
- цинк утворює настилі в різних ділянках шахти та газоходах;
- на утворення та місце розташування цинкітних настилів вирішальний вплив мають термодинамічні умови.

У роботі доменних печей України, які працювали на залізорудній сировині чистій за шкідливими домішками та при розімкнених схемах (скидання шламів у шламонакопичувачі) проблеми цинку протягом десятиліть практично не існувало і доменники не звертали на це уваги. В останні 20 - 30 років ця проблема виникла і загострилася в чорній металургії в першу чергу через повернення в агломераційне виробництво доменних шламів (замикання циклу) та утилізації сталеплавильних шламів з підвищеним вмістом цинку, оскільки почали більше переробляти оцинкований металобрухт.

Численні дослідження поведінки цинку в доменному процесі показують, в основному, наслідки та механізм шкідливого впливу на показники доменного процесу. Основною пропозицією, що стосується зниження негативного впливу цинку, є виведення з аглошихти шламів цинку. Реалізація таких пропозицій призвела б до продовження скидання доменних шламів у шламонакопичувачі та перевитрати природних

залізорудних матеріалів на виробництво агломерату, а також погіршення екологічної обстановки, яка нині висувається на перший план. Слід зазначити також, що ці пропозиції не вирішують проблеми вилучення та використання дефіцитного для України цинку.

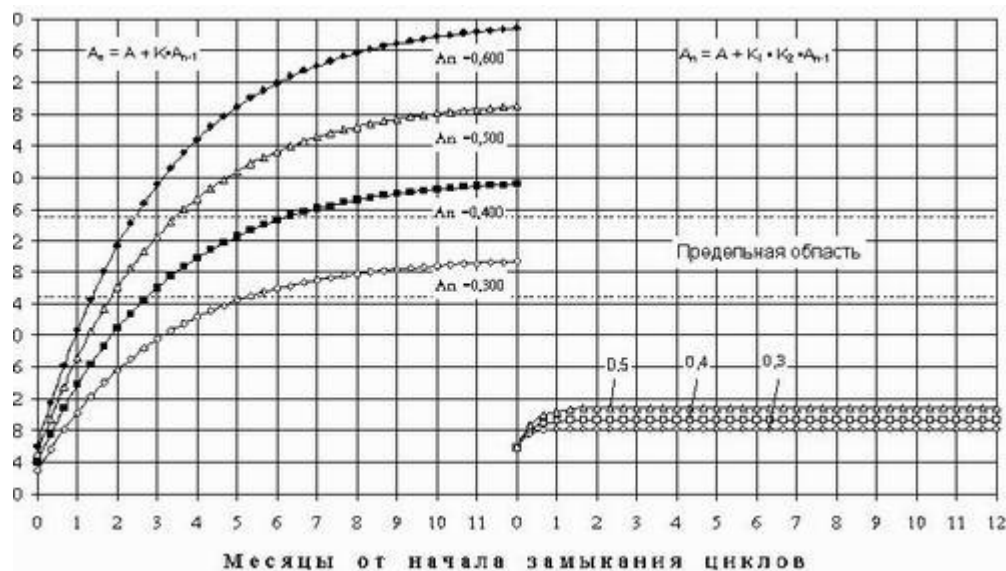


Рисунок 2.17 – Динаміка накопичення цинку у доменній печі

Виконані нами раніше розрахунки динаміки накопичення цинку в доменних печах показали, що при повному використанні колошникового пилю, доменних та сталеплавильних шламів з початковим загальним питомим надходженням цинку 0,04 кг/т чавуну та коефіцієнтом рециркуляції 0,9 насичення до гранично допустимого рівня 3 кг/т чавуну) буде через 4 місяці. У цій роботі ми пропонуємо періодично виводити цинк із замкнутої системи на один цикл (10 діб). При цьому маса цинку, що надходить у доменну піч, досягне початкового рівня. Це вказує, що за один рік роботи доменної печі більше одного місяця шлами виводитимуться з циклу та скидатимуться у шламонакопичувач.

Періодичне виведення шламів з циклу в умовах доменних цехів, що складаються з кількох печей, важко здійснимо через порушення в роботі водношламового господарства. Крім цього, періодичні накопичення та виведення цинку з доменної печі призведе до нестабільної її роботи, так як зона когезії в доменній печі поперемінно зрушуватиметься по висоті, через що створюватимуться умови для утворення

настилів у печі. Така технологія не вирішує також головну проблему - утилізації дефіцитного цинку.

Схема циркуляції кольорових металів у сталеплавильних процесах аналогічна до схеми циркуляції в доменному виробництві. Особливо це стосується цинку. Відмінністю є лише тривалість циклу, яка залежить від технологічної схеми підготовки пиловиносу та його введення в сталеплавильний агрегат. Дослідження, проведені у промислових умовах, підтвердили теоретичні розрахунки щодо поведінки цинку та свинцю у сталеплавильних агрегатах. У той же час практичні дані з рециклінгу свинцю не завжди збігаються з теоретичними, є суттєві відхилення щодо накопичення його в пиловині. Це можна пояснити можливим скупченням свинцю на подині мартенівської печі та випуском його з продуктами плавки, де він переходить у газовий фон.

Дослідженнями встановлено, що цинк та його оксиди в доменних шламах зосереджуються в тонких частинках, що уловлюються на останніх стадіях очищення доменного газу. При організації знецинкування всього потоку доменних шлаків складними методами гідрометалургії, пропонованими відомчими нормами технологічного проектування з утилізації залізовмісних відходів ускладнює та суттєво дорожчає процес вилучення цинку.

Нами пропонується раціональна технологія виведення та підготовки доменних шлаків від краплеуловлювачів тонкого очищення колошникового газу в трубі Вентурі та дросельної групи, оскільки в цьому потоці зосереджується 60-70 % цинку, що знаходиться в загальному потоці доменних шлаків та колошникового пилу.

Потік доменних шлаків напівтонкого очищення газу в скрубєрі спрямовується на зневоднення та утилізацію за загальноприйнятою технологією при агломерації залізорудних матеріалів. Виділений потік доменних шлаків, що містять цинк, направляється на окрему підготовку. При цьому пропонується двостадійне їх згущення з подальшим спільним зневодненням зі сталеплавильними шламами, що містять цинк.

При постійному виведенні тонкої фракції доменних шлаків пропонованим способом суттєво знизиться питоме надходження цинку доменну піч (рис. 2.17).

Наприклад, при питомому приході цинку 0,06 кг/т чавуну та коефіцієнті рециркуляції $K=0,9$ допустима межа 0,3 кг/т чавуну буде досягнута через 2 місяці роботи печі. У той же час при виведенні тонкої фракції з краплеуловлювачів труби Вентурі та дросельної групи граничне насичення становитиме лише 0,08 кг/т чавуну.

У цьому коефіцієнті рециркуляції будуть 0,3-0,5 тобто. у першому випадку з тонкою фракцією шлаків видаляється 70% цинку, а у другому 50%. При $K = 0,5$ граничне насичення складе 0,11 кг/т чавуну, що в 3 рази нижче за граничнодопустимий рівень.

Організація такої технології суттєво покращить технологію доменної плавки при підвищеному надходженні цинку із шихтовими матеріалами доменної плавки.

Вилучення цинку у вигляді відгонів з доменних і сталеплавильних шлаків, що містять цинк, може бути здійснено на спеціальних ділянках, наприклад, з використанням ресурсо-енерго-зберігаючої технології обробки висушених або з низьким вміст вологи шлаків рідкими сталеплавильними шлаками.

Таким чином, крім покращення доменного процесу, запропонована ресурсо-енергозберігаюча технологія вилучення дефіцитного цинку з відходів має важливе для України народногосподарське значення. Витрати на вилучення цинку зі шлаків швидко окупляться, оскільки на світовому ринку 1 т товарного цинку коштує 1000-1250\$.

ВИСНОВКИ

1. Порушення ходу доменних печей внаслідок утворення настилей обумовлює різке погіршення техніко-економічних показників доменної плавки, якість виплавленого чавуну.

2. Складність узагальнення умов настилеутворення пояснюється тим, що кожен випадок зародження настилей в доменних печах визначається суто конкретними факторами як технологічними, так і конструктивними. Кожен етап розвитку доменного виробництва супроводжувався не тільки зміною шихтових умов, а й технологічного режиму доменної плавки. При цьому на кожному етапі питанню утворення настилів приділялась значна увага.

3. Як показав аналіз розглянутих джерел причинами утворення настилів можуть бути: збільшення зони первинного шлакоутворення; робота доменних печей з обривами і каналами; різкі коливання шлаків за хімічним складом і фізико-хімічними властивостями; низька якість коксу, наявність значної кількості дрібниці в агломераті; конструктивні особливості доменної печі.

4. Досліджено настилі в умовах ПАТ «Запоріжсталь». Як показали дослідження факторами, що сприяють настилеутворенню є: низька якість коксу та каналний хід доменних печей.

5. Хімічний аналіз проб настилів доменних печей ПАТ «Запоріжсталь» показав наявність в них лужних металів і цинку.

6. Середня питома концентрація цинку у верхньому контурі циркуляції в доменних печах, які проплавлять шихти з приходом його в межах 0,3...2,1 кг/т чавуну, при різному абсолютному накопиченні становить 25...37 кг/т чавуну, що викликає перевитрату коксу на 30...40 кг/т чавуну.

7. Баланс теплоти реакції окислення металевого цинку підтверджує можливість утворення рідкого цинку за рахунок тепла його окислення і розкриває принциповий механізм цього явища. Утворення рідкого цинку всередині оболонки оксиду відбувається зі збільшенням обсягу і тому рідкий цинк може виходити назовні, вна-

слідок чого частка буде налипати на поверхні шматка шихти, на футеровці або на настилі, що утворилася при конденсації парів.

8. Розроблено метод зняття настилів з верхніх горизонтів шахти печі на повному ході, що полягає в суміщенні термічного та механічного впливу на настилі.

9. Найбільш ефективними і технологічними виявилися два варіанти способу, що отримало назву "сухої" видувки. Зниження питомої витрати коксу на різних печах після видалення з них цинку склало 4...17 кг/т чавуну. Наведені величини зниження склали 5,5...8,0 кг/т чавуну. Хід печей став більш стійким, на деяких з них помітно зростала продуктивність (від 60 до 130 т/добу).

10. Запропоновано «гвинтовий» спосіб завантаження шихтових матеріалів в домену піч. Дослідження показали, що завантаження шихтових матеріалів запропонованим способом дозволяє формувати рудний гребінь із заданого циклу подач у вигляді спіралі, що дозволяє досягти найбільш рівномірного розподілу газового потоку по перетину і висоті доменної печі, збільшення ступеня використання теплової і хімічної енергії газу на 4,4 %, поліпшення ходу печі, зниження витрати коксу на 2,1 % і підвищення продуктивності на 4,3 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Красавцев Н.И. Образование настывлей в доменных печах // Сталь. 1950. №4. С. 372-376.
2. Остроухов М.Я. Причины образования настывлей в доменных печах // Настывли в доменных печах: Сб. статей. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1953. С. 160-184.
3. Банных А.М., Стефанович М.А., Якобсон А.П. Образование настывлей в доменных печах // Настывли в доменных печах: Сб. статей. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1953. С. 185-221.
4. Щербаков В.П., Кайстро Н.П. О настывлях в доменных печах завода «Запорожсталь» // Настывли в доменных печах: Сб. статей. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1953. С. 222-243.
5. Новиков И.С., Гладкоскок П.П. Причины настывлеобразования в доменных печах // Настывли в доменных печах: Сб. статей. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1953. – С. 244-257.
6. Жеребин Б.Н. Настывли в доменных печах Кузнецкого завода и причины их образования // Настывли в доменных печах: Сб. статей. Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1953. С. 141-159.
7. Балон И.Д. Настывли в газоотводах доменных печей // Сталь. 1965. № 2. С. 112-113.
8. Жило Н.Л., Сидоренков А.Л., Униговский Л.Б. О поведении цинка в доменных печах // Производство чугуна, Свердловськ. 1982. № 8. С. 111-128.
9. Drabina J. поверхностное натяжения и угол смачивания чугуна на углеродистой набойке // Huhor listy, 1970. 25. № 6. С. 382-387.

10. Хирози О., Такаси Х., Масатака М. Влияние углерода, щелочей и цинка на износ футеровки стен доменной печи // Тайкабуцу Refractories. 1968. 20. № 130. С. 533-537.
11. Табата Н., Минору С., Накадзава Т. Минералогический состав и образование настывлей в шахте доменной печи // Тэцу то хагане, 1968. 54.№ 12. С.1259-1267.
12. Антонов Н.С., Визлов Е.М., Гришкова А.А. Контроль ведения доменной плавки в условиях образования настывлей // Сталь. 1983. № 12. С. 14-16.
13. Mazanek E., Wyderko M., Krol L. Влияние цинка на ход доменной печи и образование настывлей // Huhnrik. 1969. 6. № 1. С. 1-7.
14. Горох А.В., Галемин И.М. О разрушении огнеупоров в шахте доменной печи // Огнеупоры. 1968. № 4. С. 35-36.
15. Debar J., Mosser F., Paoletti R. Поведение цинка в доменной печи // HF-80 Congrhauf fournean Arles, 1980, vol. 1. С. 1114-1125.
16. Жило Н.Л., Униговский Л.Б., Колмогорцев В.Б. О поведении цинка в доменных печах Челябинского металлургического завода // Сталь. 1983. № 2. С. 12-15.
17. Жембус М.Д., Ровенский М.И. Некоторые особенности поведения цианидов и щелочей в доменной печи и их влияние на износ огнеупорной кладки // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1971. № 4 (70). С. 9-11.
18. Лугинин А.Н., Лугинина И.Г. Об одной из основных причин образования настывлей в доменных печах // Известия вузов. Черная металлургия. 1971. №6. С. 43-45.
19. В.В. Капорулин, Г.И. Урбанович, В.Л. Емельянов Особенности работы доменных печей в задувочный период после обрушения цинкитных настывлей // и др. // Сталь. 1985. №10. С. 8-10.
20. Образование настывли и ее удаление из доменной печи в условиях работы Руставского металлургического завода / Г.А. Бицадзе, В.В. Парасташвили, И.А. Кобахидзе, Ш.Ф. Хоштария // Сталь. 1987. №8. С. 18-22.

21. Особенности настыеобразования в доменных печах / Б.Ф. Мардер, И.И. Дышлевич, А.Я. Ткач и др. // *Металлург.* 1987. №5. С. 22-24.
22. Редько А.Н. Влияние цинка на срок службы доменной печи // *Сталь.* 1947. № 1. С. 19-26.
23. Луговцев М.В., Сигов А.А. Борьба с вредным влиянием цинка на кузнечном заводе // *Сталь.* 1947. № 7. С. 593-595.
24. Редько А.Н. Методы борьбы с вредным влиянием цинка // *Сталь.* 1948. № 6. С. 499-505.
25. Богданди Л., Клер Э. Восстановление оксидов цинка // *Черные металлы.* 1962. № 26. С. 30-38.
26. Николь Р., Лу Ю.К. Поведение цинка в доменной печи и его удаление в процессе подготовки. Пер. с англ. № Б-45301. 1979. М., ВЦП НТДД.
27. Капорулин В.В., Урбанович Г.И., Невмержицкий Е.В. // *Сталь.* 1984. № 11. С. 9-15.
28. Галемин И.М., Горох А.В. Настыли на колошнике и в газоотводах доменных печей при плавке цинкосодержащих железных руд // *Сталь.* 1961. № 12. С. 1062-1064.
29. Костров В.А., Котов А.П., Левин Л.Л. // *Металлург.* 1985. № 8. С. 36-39.
30. Костров В.А., Солодков В.И., Котов А.П. О поведении цинка в доменной печи // *Сталь.* 1980. № 8. С. 659-663.
31. Базилевич С.В. Исследование поведения цинка в доменных печах. Авт. канд. дисс.- Н. Тагил, 1956. 16 с.
32. Егоров Н.Д., Костров В.А., Солодков В.И. Образование и устранение настый в доменной печи при плавке цинкосодержащих руд // *Металлург.* 1985. № 5. С. 12-15.
33. Юшин Ф.А. Настыли в газоотводах доменных печей // *Сталь.* 1965. № 12. С. 112-114.
34. Горох А.В., Галемин И.М., Комлев В.А. Поведение цинка в доменной печи и его влияние на огнеупорную футеровку шахты // *Сталь.* 1964. № 7. С. 587-591.

35. Виллейс Я., Хайнерт Г. Исследование настывлей в доменной печи и удаление их путем взрывания // Черные металлы. 1964. № 2. С. 57-62.
36. Букетов Е.А., Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д. Metallургическая переработка марганцевых руд Центрального Казахстана. Наука КазССР. Алма-Ата, 1979. С. 45-67.
37. Корякова О.Ф., Щепанский В.В., Парцевский А.Б. Совершенствование технологии доменной плавки с целью уменьшения отрицательного воздействия щелочей и цинка // Бюл. ЦНИИИЧМ. 1981. № 15. С. 13-32.
38. Бялый Л.А., Котов А.П. Исследование процесса восстановления в шахте доменной печи при работе на комбинированном дутье // Сталь. 1966. № 12. С. 1075-1081.
39. Жило Н.Л., Першина Р.Ф., Белова Л.А. О причинах износа кладки и холодильников доменных печей ММК // Сталь. 1977. № 4. С. 300-304.
40. Zieler H. Gewinnung von Zink aus Hochofen Fiterstaub. Stal und Eisen. 1955. 75, 15.- S. 975-978.
41. Дисмерс Г., Хенкель З. Исследование образования настывлей в доменных печах // Черные металлы. 1965. 85,20.-С. 1240-1247.
42. Щукин Ю. П., Терентьев В. Л., Мавров А. Л., Сединкин В. И., Гостенин В. А., Гридасов В. П., Гибадулин М. Ф. Проявление щелочей в доменных печах ОАО "ММК". // Совершенствование технологии в ОАО "ММК": Сборник работ Центральной лаборатории ОАО "ММК". Вып. 7. Магнитог. Metallург. комб. Магнитогорск: Магнитогор. дом печати. 2003, с. 30-41.
43. А.с. №850660, СССР. Способ удаления настывлей в доменной печи. / Е.Ф. Вегман, Е.В. Лазуткина // Кл. С 21 в 5/02. 1981. Б.И. № 28. С. 98.
44. А.с. №1178783, СССР. Способ удаления настывлей в металлургических печах оплавлением. / Ю.П. Куприянов, В.А. Захаров, В.И. Гель и др. // Кл. С 22 в 5/02. 1985. Б.И. №34. С. 87.
45. Заявка №57-39288, Япония. Способ контроля отделения и уноса настывлей в доменной печи. // Кл. С 21 в 7/24. 1983. Б. И.З.Р. Вып. 65. №3. С. 47.

46. Появление и удаление настывли в доменной печи 2700 м³ объединения HF 80. Cong. info net hauf fournean theoret prat Aries 2-4.
47. Заявка №57-39282, Япония. Способ удаления настывлей из доменной печи газом под высоким давлением. // Кл. С 21 в 7/00. 1983. Б. И.З.Р. Вып. 65. №3.С. 44.
48. Заявка №57-14725, Япония. Способ удаления настывлей со стенок доменной печи во время ее работы. // Кл. С 21 в 7/00. 1982. Б. И.З.Р. Вып. 65. №10. С. 20.
49. Заявка №57-53402, Япония. Способ удаления настывлей со стенок доменной печи. // Кл. С 21 в 5/00. 1983. Б. И.З.Р. Вып. 65. №6. – С. 38.
50. Заявка №55-18764, Япония. Способ удаления налипаний на стенах доменной печи. // Кл. С 21 в 5/00. 1980. Б. И.З.Р. Вып. 63. №11. – С. 38.
51. Иосиока Харююки. Метод удаления настывлей. Японская заявка, № 53 135068, опубл. 16.06.80.
52. Способ удаления настывли в доменной печи при взрыве. Саэки Акира, Ниссин Коче. Пат. 58.32318. Япония, заявл. 12.07.83 МКИ F 27 Д 1/16.
53. Способ удаления настывли в доменной печи. Яги Мицуо, Камада Мицуо, Хокочава Юхиро и др. Патент Японии № 57-53402, опубл. 12.11.82.
54. Бялый Л.Я., Райх Е.И., Шкодин К.К. Количество цинка, циркулирующего в печи // Сталь. 1988. № 11. С. 53-57.
55. Шумихин, В. С. Синтетический чугуи/V. С. Шумихин, П. П. Лузан, М. В. Жальнис. – Киев: Научная дум-ка, 1971. – 156 с.