

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

На правах рукопису

Кризський Б. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН І МЕТОДИ БОРОТЬБИ З  
НАСТИЛЯУТВОРЕННЯМИ В УМОВАХ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

8.050401 Металургія чорних металів

Автореферат  
кваліфікаційної роботи магістра

Запоріжжя

2016

Робота є рукописом.

Робота виконана на кафедрі металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії.

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук, доцент Безпалов Р.І.

Рецензент:

к.т.н., начальник технічного управління ПАТ  
“Запоріжсталь” Набока В.І.

Захист кваліфікаційної магістерської роботи відбудеться  
“11” січня 2016 р. в 9<sup>00</sup> в аудиторії 225 на засіданні Державної  
екзаменаційної комісії в Запорізькій державній інженерній академії за адресою:  
69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226.

Зав. кафедрою МЧМ \_\_\_\_\_ професор, д.т.н Воденніков С.А.

## 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 цинковмісна 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 теплова робота горна, його дренаж погіршується, якість чавуну стає нестабільним.

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

**Мета роботи** - встановити причини і методи боротьби з настилеутвореннями в умовах доменної плавки. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати основні причини утворення настилів та методи боротьби з ними.
2. Дослідити накоплення цинку в доменній печі..
3. Провести візуальний нагляд за настелями, які утворилися на доменних печах ПАТ «Запоріжсталь» та виявити причини їх утворення.
4. Дослідити спосіб завантаження доменної печі, що дозволить рівномірно розподілити шихтові матеріали на колошнику.
5. Розробити методи боротьби з настеляутвореннями.

**Об'єкт дослідження:** процес утворення настилів в доменній печі.

**Предмет дослідження:** закономірності і механізми впливу хімічного складу шихти, технологічних параметрів доменної плавки на утворення настилів.

**Методи досліджень:** Патентно-інформаційні дослідження, методи хімічного аналізу та візуального спостереження.

### **Наукова новизна:**

1. Виявлено механізм утворення рідкої фази цинку за рахунок окислення його металевих частинок і умови утворення пухкої структури настилі.
2. Вивчено вплив властивостей шихтових матеріалів на розвиток процесу утворення рідкої фази цинку.

### **Практичне значення:**

1. Розроблений метод обвалення настилів за допомогою суміщення теплового і механічного удару.
2. Розроблений спосіб видалення цинку з шахти доменної печі шляхом проведення сухої видувки з заміною частини коксу рівним об'ємом шлакового щебню, що дозволило знизити витрати коксу від 4 до 17 кг/т чавуну.

**Апробація результатів роботи.** Результати досліджень, включених в кваліфікаційну магістерську роботу, доповіли на: XX науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Частина I. (Запоріжжя, 2015 р.); і наукових семінарах кафедри металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії.

### **Публікації**

Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і тезах конференцій.

### **Структура і об'єм роботи**

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з найменувань і додатків, викладена на сторінках машинописного тексту, включаючи рисунків, таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, показано наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів.

**Перший розділ** присвячено аналітичному огляду настилеутворення в сучасних умовах доменної плавки.

Питанню настилеутворення присвяченні праці таких вчених-металургів як: Красавцев Н.І., Жеребін Б.М., Баллон І.Д., Вегман Е.Ф., Гаврілко С.О. та інші.

Виходячи з наведеного аналізу літературних джерел, умовами, що визначають розвиток утворення настилів в доменній печі, є: 1) фізико-хімічні властивості шихтових матеріалів (температура розм'якшення, плавлення, величина зони первинного шлакоутворення); 2) хімічний склад шихтових матеріалів, багатство за вмістом заліза, високий вміст SiO<sub>2</sub>, цинку і лугів, певний вміст глинозему і магнезії; причому, останнє, як показує практика роботи доменних цехів України, є визначальним у технологічному процесі доменної плавки; 3) Неправильна експлуатація доменних печей. надмірне форсування доменних печей дутьом призводить часто до роботи з максимально

розкритою периферією, що сприяє дестабілізації роботи газового потоку, посилює процес настилеутворення.

У другому розділі Огляд печей заводу ПАТ «Запоріжсталь» на капітальних ремонтах в період з 2000 по 2001 рр. виявили наявність охолодів в доменних печах № 3 і № 4. У не охолоджуваній частині 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. 1).

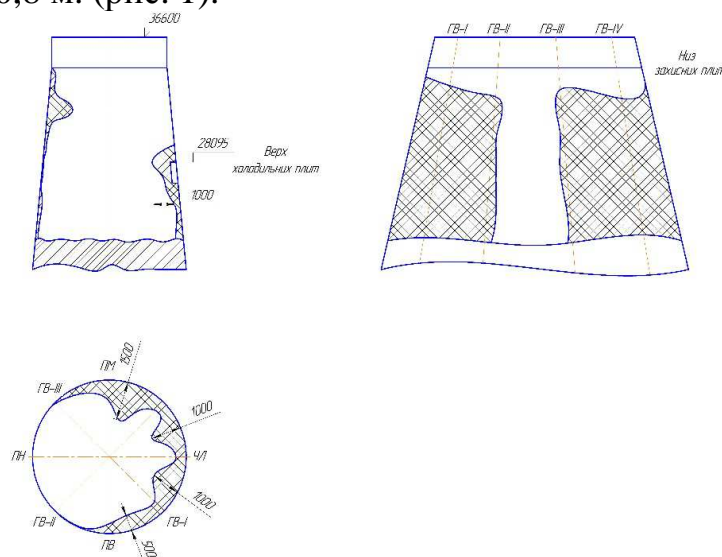


Рис. 1. Настиль доменної печі № 3 ПАТ «Запоріжсталь»

ГВ – газовідвод; ПМ – похилий міст; ПН – повітрянагрівач; ПМ – похилий міст.

Хімічний аналіз проби наведено в табл. 1.

Таблиця 1 -

Хімічний склад настилі доменної печі № 3 ВАТ «Запоріжсталь»

Хімічна речовина	Вміст в настилі, %					
	Перевірочні проби у стінці		Проби			
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
SiO <sub>2</sub>	14,35	3,92	8,35	7,08	41,80	8,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0,28	0,70	-	-	-	-
Na <sub>2</sub> 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.

Хімічний аналіз проби виявив наявність наступних сполук, %:  $\text{SiO}_2$  - 48,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 41,1;  $\text{CaO}$  - 0,5;  $\text{MgO}$  - 0,3;  $\text{Fe}$  - 5,1;  $\text{P}$  - 0,035;  $\text{Zn}$  - 1,15;  $\text{K}_2\text{O}$  - 2,1;  $\text{Na}_2\text{O}$  - 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 знижену температуру розм'якшення агломерату.

Практично всі матеріали, що входять до складу доменної шихти або використовувані в ній епізодично - залізовмісні, флюсами, кокс, містять ту чи іншу кількість цинку. Найбільша його кількість вносять у піч залізородні матеріали.

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

При видувці доменної печі № 4 НТМК виконували відбір шламів і сухої частини пилу за весь період пониження рівня засипу. Вміст цинку в пилу наростало і через 2,0 ... 2,5 години (горизонт 5,5 ... 6,0 м від нормального рівня засипу) досягало 59,8%, після чого стало поступово знижуватися (рис. 2). Характерно, що зниження кількості цинку почалося раніше зменшення виходу пилу. Продовження зростання виходу пилу, а потім зниження, говорить про те, що вона також бере участь в циркуляції, але у випадку цинку діє й інший механізм осадження його в шихті.

Подібна картина вийшла при видуванні доменних печей ММК (рис. 3.). Вміст цинку в видуває пилу було меншим, ніж в умовах НТМК, максимальний вміст досягало 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.

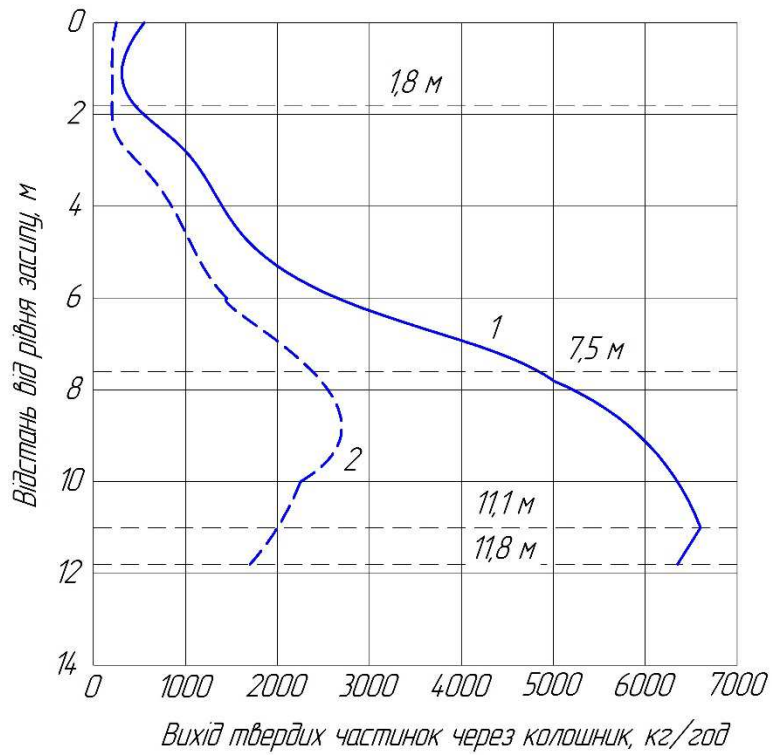


Рис. 2. Характер накопичення цинку в доменній печі № 4 НТМК  
 1 – вихід пилу, кг/год; 2 – вихід цинку, кг/год.

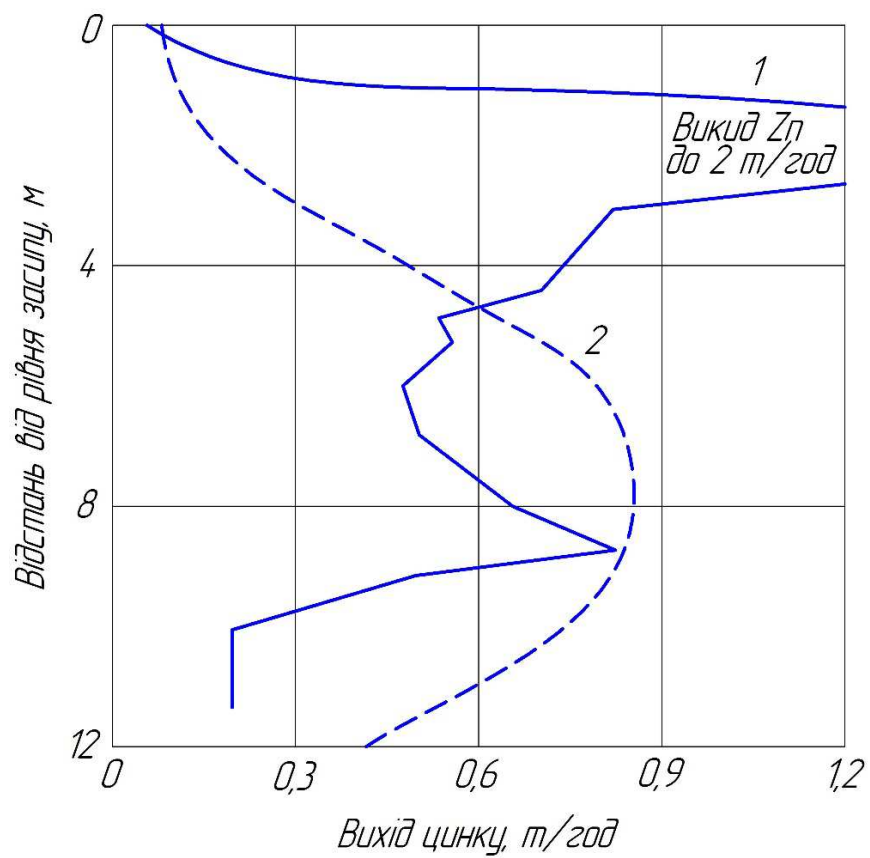


Рис. 3. Характер концентрації цинку в шахті доменних печей ММК  
 1 – доменна піч № 3; 2 – доменна піч № 4.

На рис. 4 представлені результати розрахунків необхідних теплових витрат для нагріву і агрегатних перетворень цинку в зіставленні з теплом реакції  $Zn + CO_2 = ZnO + CO$  при різного ступеня її розвитку і засвоєнні тепла окислюється часткою. 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.

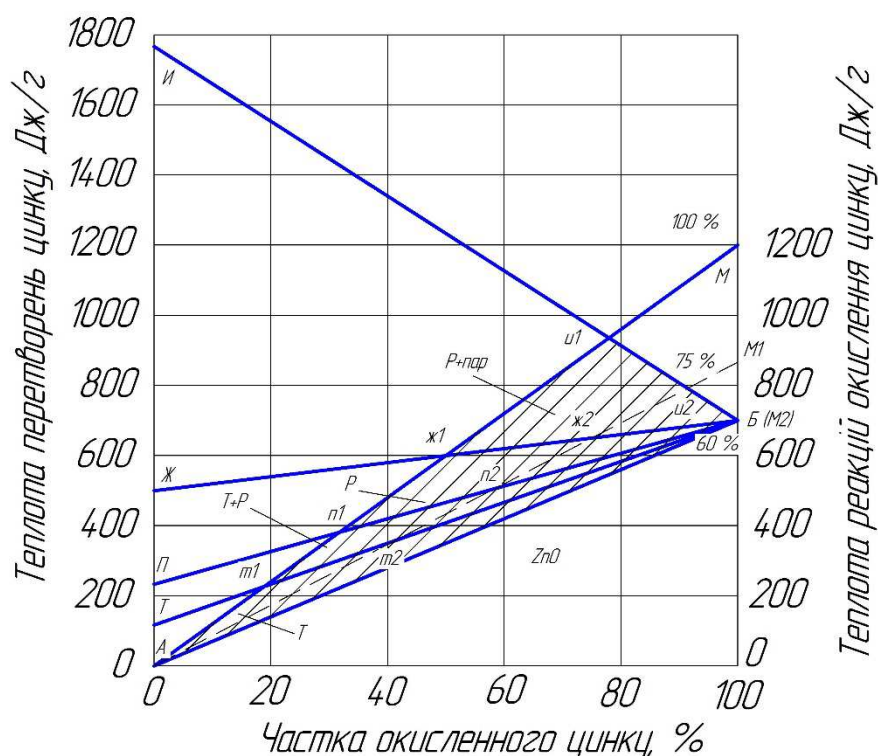


Рис. 4. Баланс теплоти реакції окислення металевого цинку і його агрегатних перетворень

При убутку маси металевого цинку в ході його окислення витрата тепла на агрегатні перетворення знижується. На графіку він пропорційний відстані між лініями ТБ, ПБ, ЖБ та ІБ на ординаті, відповідного ступеня розвитку реакції окислення. Лінія АБ показує зміну теплопотребності на нагрів оксиду, що утворюється до температури  $910^\circ C$ . Лінії АМ, АМ<sub>1</sub> і АМ<sub>2</sub> 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 АБ.

Область, розташована вище лінії ІБ, відповідає існуванню пароподібного цинку, область ІЖБ - рідкого та пароподібного цинку, область ЖПБ-рідкого та область ПТБ-рідкого і твердого цинку.

Теоретично, при поглинанні часткою всього тепла реакції металевий цинк буде прогрітий до температури плавлення при окисленні 20% його маси (точка  $m_4$ ), 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.

Однією з причин захаращення периферії горна плавкими масами, є неконтрольоване сповзання настилей (гарнісажу) нижніх горизонтів шахти і запічків. Непідготовлений горн при цьому не справляється з підвищеною теплонеобхідністю, і настилі, як правило, перетворюються на неплавку масу, налипає на його стіни.

При початку утворення настилів використовували технологічний прийом зниження температури дуття і (або) концентрації кисню знижуючи температури на рівні фурм і підвищуючи їх в запічках, розпарі і внизу в шахті (рис. 5).

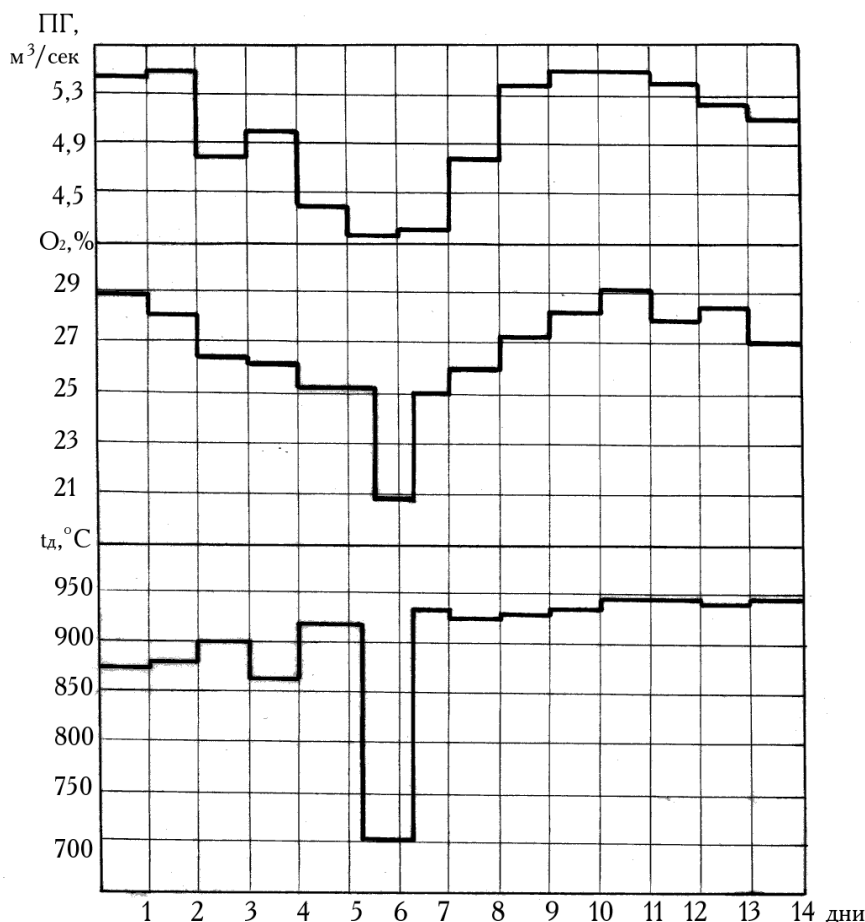


Рис. 5. Зміна витрати природного газу (ПГ), вмісту кисню в дутті (O<sub>2</sub>) і температури дуття (t<sub>d</sub>) на доменній печі об'ємом 2700 м<sup>3</sup> при знятті настилей з запічків печі

Про позитивний ефект вжитих заходів свідчить поліпшення роботи печі, починаючи з сьомої доби (рис. 5.). Піч стала більше приймати дуття, підвищилася продуктивність, знизилася питома витрата коксу. Крім того, візуальні спостереження за ходом випусків показали, сповзаючий гарнісаж 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.

Відомі методи 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 настілями зруйнувати і футеровку печі.

Недоліки, властиві обом методам, можна усунути, якщо поєднати дві дії, - теплового та механічного удару на настилі. У зв'язку з викладеним, пропонується наступна методика зняття настилей з верхніх горизонтів шахти доменної печі.

Реєструють момент початку утворення настилу, потім без зміни режиму комбінованого дуття на повному ході печі знижують рівень засипу шихти в доменній печі нижче рівня настилу (можна знижувати рівень засипу до 7-8 м без зняття дуття), періодично довантажуючи 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 настил холодоагент, наприклад, воду з системи водоводів і форсунок на куполі печі, призначених для зниження температури колошникового газу, і одночасно скидають з великого конуса подачу підготовленого важкого матеріалу. Поєднуючи термічний і механічний удари, обрушують настилі.

Запропоноване «гвинтове» завантаження доменної печі відрізняється від звичайного тим, що кут повороту розподільника шихти для кожного подальшого циклу подач змінювали на величину  $\alpha$ , яка визначається за виразом:  $\alpha = 360/2(n + 1)$ , де  $n$  – кількість станцій роботи розподільника шихти. При вдосконаленому способі «гвинтового» завантаження повна спіраль шихти формується з 12 циклів (60 подач), яка повністю займає об'єм печі до осі повітряних фурм.

**У третьому розділі** розглядаються питання охорони праці і техногенної безпеки. Розробляються заходи з електричної та пожежної безпеки у доменному виробництві.

## 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 питання 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 ВАТ «Запоріжсталь» показав наявність в них лужних металів і цинку.

6. Середня питома концентрація цинку у верхньому контурі циркуляції в доменних печах, які проплавають 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, внаслідок 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 опублікованих магістрантом робіт**

1. Кризький Б.В. Дослідження тиску впливу колошникових газів на продуктивність доменної печі/ Матеріали XX науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Т. 1/Запоріж. держ. інж. акад.- Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2015.- С. 10.

2. Кризький Б.В. Дослідження умов настилеутворення на доменних печах / Б. В. Кризький, Р.І. Безпалов // Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11.– Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2016. – С. 101-107.