Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна магістерська робота

рівень вищої освіти___другий магістерський рівень_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему Дослідження і розробка технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу _____

Виконав: студент ___2__курсу, групи 8.*1363*

__Євтушенко Є.В._____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація
_____
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
*Металургія*_____
(шифр і назва)

Керівник Куріс Ю.В._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Воденнікова О.С._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти _____*другий магістерський рівень*_____
другий (магістерський) рівень

Спеціальність ___*136 металургія*_____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма ___*металургія чорних металів*
_____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____***МТЕТБ***_____
_____***Ю.О. Бєлоконь***__

"__" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

_____*Євтушенко Євген Вадимович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)__Дослідження і розробка технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу
_____
_____
керівник роботи (проєкту)____*Куріс Юрій Володимирович*_____*д.т.н, професор*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "28"___02__ 2024року №359-с
2. Строк подання студентом роботи (проєкта)____1*.12.2024*_____
3. Вихідні дані до роботи (проєкта)__*Вдосконалення технології доменної плавки*_____
_____
_____
_4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Реферат. Вступ. Загальна частина. Дослідницька частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилання.*
_____
_____
_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1 назва розділу	*Куріс Ю.В., професор*	
Розділ 2 назва розділу	*Куріс Ю.В., професор*	
Розділ 3 назва розділу	*Куріс Ю.В., професор*	
Нормоконтроль	*Кириченко О.Г.,доцент*	

7. Дата видачі завдання *12.02.2024*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Реферат*		
3	*Розділ 1*		
4	*Розділ 2*		
4	*Розділ 3*		
5	*Висновки*		

Студент _____ **Є. В. Євтушенко**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Ю.*В. Куріс***
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ДОМЕННА ПІЧ, ШИХТА, ЧАВУН, ПИЛОВУГІЛЬНЕ ПАЛИВО, АНТРАЦИТ, НАГРІВ ДУТТЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Кваліфікаційна магістерська робота: на тему «Дослідження і розробка технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу», яка включає 84 стор. машинописного тексту, 8 рис., 13 табл., 31 найменувань переліку використаних джерел.

Мета роботи – дослідження і розробка технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу.

У розділі 1 проаналізований сучасний стан доменного виробництва, розглянуті основні технологічні особливості виплавки чавуну та методи інтенсифікації доменного процесу.

У розділі 2 проведені дослідження технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу. Охарактеризовані ресурси вугілля для приготування пиловугільного палива. Розроблена та освоєна технології доменної плавки з заміною частини коксу антрацитом.

У розділі 3 проаналізовані потенційно шкідливі чинники виробничого середовища доменного цеху. Наведено розрахунок установки водяного пожежогасіння

ЗМІСТ

Вступ 7
Розділ 1 Аналітичний огляд процесів отримання чавуну 10
1.1. Основні положення доменного процесу 10
1.1.1. Загальна схема і суть доменного процесу 10
1.1.2. Розподіл температур, видалення вологи і розкладання карбонатів 12
1.1.3. Фізико-хімічні процеси в доменній печі, що супроводжують виробництво чавуну 16
1.2. Інтенсифікація доменного процесу 21
1.2.1. Методи інтенсифікації доменного процесу 21
1.2.2. Застосування в Україні технології доменної плавки з вдуванням пиловугільного палива (ПВП) 25
1.3. Висновки 30
Розділ 2 Дослідження технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу 32
2.1. Розробка та освоєння технології доменної плавки з заміною частини коксу антрацитом 32
2.1.1. Теоретичні передумови заміни частини коксу антрацитом 32
2.1.2. Ресурси вугілля для приготування пиловугільного палива 37
2.1.3. Підготовка антрациту до доменної плавки 42
2.1.4. Використання антрациту в доменній печі 45
2.2. Освоєння технології заміни коксу антрацитом на доменних печах 53
2.3. Висновки 64
Розділ 3 Охорона праці та техногенна безпека 65
3.1. Аналіз потенційних шкідливих чинників виробничого середовища доменного цеху 65
3.2. Заходи щодо усунення небезпечних і шкідливих чинників 67

3.3. Технічні рішення по виробничій санітарії 67
3.4. Електробезпека 69
3.5. Пожежна безпека доменного виробництва 71
3.6. Розрахунок установки водяного пожежогасіння 73
3.7. Висновки 76
Висновки 77
Список використаних джерел 79

ВСТУП

Чорна металургія України, починаючи з 1990-х років і по теперішній час, є ключовою галуззю промисловості і економіки країни в цілому, займаючи провідні позиції як по обсягам виробництва продукції, так і по її експорту. За даними Держкомстату України в 2004 р. питома вага галузі в промисловому виробництві як і раніше була найбільшою і складала 26,5%. При сукупному об'ємі експорту України в 2004 р. в об'ємі 32,67 млрд. дол. США експорт чорних металів склав 10,78 млрд. дол. США або 32,96% від загального об'єму експорту країни. Така роль чорної металургії в економіці України обумовлює пряму залежність її стану від стану металургійної галузі і особливу актуальність досліджень в області інвестиційно-інноваційної діяльності в чорній металургії України.

В Україні з усіх відомих процесів виробництва металізованої сировини використовується тільки один - традиційний доменний процес, продуктом якого є чавун. Чавун випускають 11 металургійних підприємств країни.

Основним завданням доменного виробництва є забезпечення народного господарства необхідною кількістю металу заданої якості при максимальному коксо- і енергозбереженні.

Масове промислове використання комбінованого дуття і додаткового палива в якості замінників коксу в доменній плавці було засвоєне в 60-х роках XX століття в доменних цехах України. Однак, в теперішній час вартість природного газу на вході в металургійний комбінат дорівнює, а іноді вище вартості коксу. В той же час ефективність використання комбінованого дуття в світі якісно підвищилось, чому сприяло використання пиловугільного палива (ПВП) і удосконалення основних компонентів доменної технології.

Вказані особливості дозволили підвищити ефективність використання додаткового палива при заміні коксу, що забезпечило значне скорочення

витрат останнього при збереженні високого рівня продуктивності печей і якості чавуну.

В умовах України найбільш висока заміна коксу паливними добавками (30-35%) досягається при сумісному використанні ПВП і природного газу [1]. Однак, не дивлячись на переваги технологій вдування ПВП, для реалізації цієї технології необхідно на кожному підприємстві вирішувати комплекс проблем від покращення якості залізорудної сировини і коксу до забезпечення повноти згорання вугілля у фурм, вибору раціональних дуттєвих параметрів і реорганізації всього технологічного режиму доменної плавки. Для організації вдування ПВП необхідно споруджування капіталоємкого комплексу для збереження, підготовки, дозування і транспортування вугілля до фурм вартістю більше 30-40 млн. євро на кожну доменну піч.

У випадку відсутності таких коштів для спорудження комплексу ПВП і можливості забезпечення доменної плавки коксом високої якості є можливість використання в доменному виробництві України технології часткової заміни коксу антрацитом, що являє собою високоякісне паливо і відновлювальний матеріал, який містить в горючої масі до 93-97 % вуглецю, або термоантрацитом (термічна стійкість і механічна міцність якого наближається до показників коксу, а вміст вуглецю збільшується до 96-98 % при зниженні вмісту летучих речовин до 0,3-0,8 %).

Мета дипломної роботи – дослідження і розробка технології доменної плавки з використанням твердих замінників коксу.

Викладене дозволяє сформулювати наступні завдання, які потребують оперативного рішення вченими і фахівцями доменщиками, а також дослідно-експериментальної перевірки прийомів вдування ПВП, забезпечення повного згорання часток пилу, вибору раціональних режимів дуття, розподілу шихтових матеріалів і газового потоку по перетину печі. Для ефективного і обґрунтованого вирішення головного завдання - зменшення витрати коксу і природного газу при забезпеченні стабільної і

високопродуктивної роботи доменних печей - необхідно активізувати нові розробки і забезпечити їх реалізацію на доменних печах України. З цією метою необхідно виконати наступні дослідження і розробки, що спираються на наявні в Інституті Чорної Металургії (ІЧМ) наукові знання і досвід їх реалізації на доменних печах різного об'єму, які оснащені сучасним устаткуванням і новими засобами автоматизованого контролю параметрів плавки і розподілу шихти і газів [2-3]:

1. Вивчити вплив режимів вдування ПВП на зміну параметрів плавки, доцільність використання природного газу в обмеженому об'ємі, металодобавок, пари, інших компонентів. Дослідити вплив режимів роботи печі на зміну параметрів плавки і розподіл газів по перетину і висоті шахти доменної печі, що необхідно для створення і реалізації технології виплавки чавуну із застосуванням ПВП і меншою витратою дорогих енергоносіїв.

2. Оцінити необхідність і особливості управління газовим потоком, у тому числі інтенсивністю руху газів в осьовій і периферійній зонах печі.

3. Визначити доцільну величину додаткового тепла і кисню, необхідних для інтенсифікації горіння часток ПВП і організації стабільних умов роботи горна доменної печі.

4. Вибрати раціональний склад шихти, для забезпечення стабільного і ефективного процесу плавки із застосуванням ПВП.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ

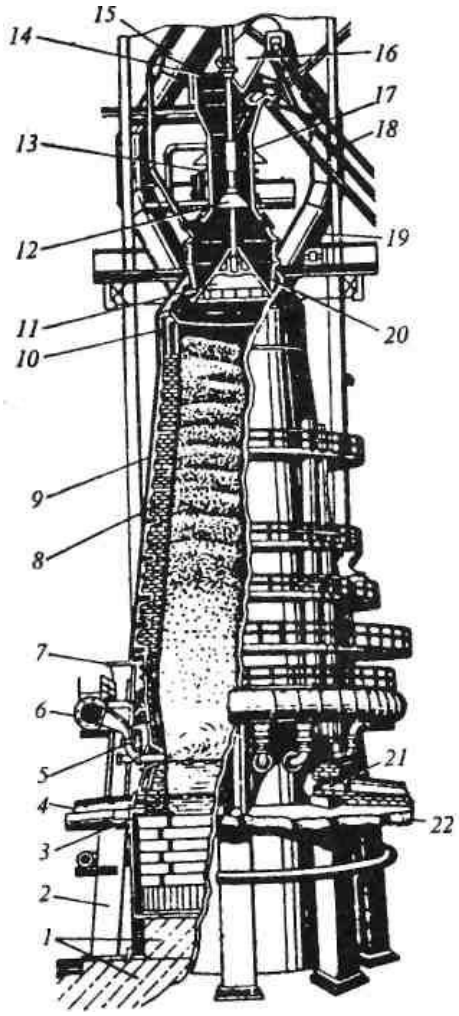
1.1. Основні положення доменного процесу

1.1.1. Загальна схема і суть доменного процесу

Доменна піч є потужним і високопродуктивним агрегатом, в якому витрачається величезна кількість шихти і дуття. Сучасна, найбільша по розмірах, доменна піч щодоби витрачає близько 23000 т шихти, 18000 т дуття, 1700 т природного газу і видає 12000 т чавуну, 4000 т шлаку і 27000 т колошникового газу. Таким чином, у великій доменній печі щохвилини виплавляється близько 9 т чавуну. Для забезпечення безперервної подачі і випуску такої великої кількості матеріалів необхідно, щоб конструкції печі були прості і дуже надійні.

Доменна піч - піч шахтного типу. Згори в піч порціями безперервно завантажують шихтові матеріали - агломерат (окатиші) і кокс, які повільно опускаються вниз; тривалість їх перебування в печі складає 4-6 год. У нижню частину печі (верх горна) через фурми подають дуття - нагріте повітря; у фурмі за рахунок кисню дуття згорає кокс з виділенням тепла, а гарячі продукти згорання рухаються через стовп шихти вгору, нагріваючи її; час перебування газів в печі складає 3-12 с. При опусканні шихти, що нагрівається, в ній з оксидів відновлюється залізо, яке вуглецюється, розплавляється і каплями стікає в горн, формуючи чавун, а оксиди, що не відновилися, в нижній частині печі (низ шахти, розпарення) розплавляються, утворюючи шлак, який також стікає в горн. Накопичені в горні чавун і шлак, що мають температуру 1450-1500 °С, періодично випускають через чавунні і шлакові льотки.

Загальний вигляд доменної печі показаний на рисунку 1.1. Піч спирається на фундамент 1, велика частина якого заглиблена в землю. Зовні піч поміщена в суцільний сталевий кожух 9. Усередині кожуха знаходиться футерування 8, яка охолоджується холодильниками і які кріпляться до внутрішньої поверхні кожуха. У нижній частині печі (горні) розташовані льотки 3 для випуску чавуну і льотки 21 для випуску шлаку.



1-фундамент; 2-колонна; 3-льотка для випуску чавуну; 4-чавунні жолоби; 5-фурмені пристрої; 6-кільцевий повітропровід; 7-мараторне кільце кожуха; 8-футеровка; 9-стальний кожух; 10-колошник; 11-великий конус; 12-малий конус; 13 - механізм засипного пристрою, що обертає; 14- прийомна лійка; 15, 19-газовідводи; 16-скип; 17-воронка; 18-нахильний міст; 20-лійка (чаша); 21-льотка для випуску шлаку; 22–майданчик.

Рисунок 1.1 - Загальний вигляд доменної печі з двоконусним засипним апаратом.

Навколо печі прокладено кільцевий футерований повітропровід 6, в який з повітронагрівачів подається гаряче дуття (повітря); кільцевий повітропровід служить для підведення дуття до розташованих по колу печі фурменим пристроям 5, через які дуття поступає у верхню частину горна. Вище за колошник 10 печі розташовано колошниковий пристрій. Він включає газовідводи 15, 19, які служать для відведення з печі доменного газу; засипний (завантажувальний) апарат і ряд інших механізмів, пов'язаних з завантаженням шихти і відведенням газу. Показані елементи засипного апарату: великий конус 11, що закриває лійку 20; малий конус 12, що закриває лійку 17, і механізм 13, що забезпечує їх обертання; приймальна воронка 14, в яку шихтові матеріали висипають із скіпу 16 шляхом його перекидання, скіп доставляється на колошник по рейках похилого моста 18.

Тяжкість кожуха і футерування верхньої частини печі передається на фундамент через мараторне кільце 7 кожуху і колони 2. Рідкий чавун, що випускається з печі через льотки 3 поступає в жолоби 4, що розташовуються на робочому майданчику 22.

1.1.2. Розподіл температур, видалення вологи і розкладання карбонатів

Розподіл температур в печі. Окрім тепла, що вноситься нагрітим дуттям, основним джерелом тепла для нагріву шихти і газів, розплавлення чавуну і шлаку, забезпечення процесів відновлення і компенсації тепловтрат являється тепло, що виділяється у верхній частині горна при згоранні палива (коксу і що частенько вводяться для заміни частини коксу природного газу, нафтопродуктів і вугільного пилу). Гарячі газоподібні продукти згорання рухаються з горна вгору, віддаючи тепло холодним шихтовим матеріалам, що опускаються вниз, нагріваючи їх, а самі охолоджуються. Тому у міру віддалення від горна до верху температура в печі знижується з 1400-1600 до

200-350 °С на виході з колошника. В той же час, на одному і тому ж горизонті печі (поперечному перерізі) температура не є постійною і змінюється в досить широких межах. Це пояснюється тим, що гарячі гази, що піднімаються, рухаються по перерізу печі нерівномірно; максимальна кількість газів проходить в ділянках поперечного перерізу з меншим опором шихти і тут спостерігаються найбільші температури.

Він відповідає положенню, коли помірно розвинений потік газів на периферії (у стін) печі і дещо помітніше в осьовій частині. Так посилення периферійного потоку газів викличе збільшення температур у стін печі, а збільшення осьового потоку - просування вверх зони високих температур в осьовій частині печі і навпаки.

Видалення вологи. Шихта, що завантажується в доменну піч, містить гігроскопічну вологу (наприклад, в коксі 0,5-5 %), а іноді вологу гідрату. Гігроскопічна волога легко випаровується на колошнику, і для її видалення не потрібно додаткове тепло, оскільки температура колошникових газів вища за температуру випару вологи.

Волога гідрату з'являється лише при завантаженні в піч залізняку, вона знаходиться в з'єднанні з Fe_2O_3 (у бурому залізняку) або з $A1_2O_3$ (у каолініті). Ці з'єднання розкладаються при 400-1000 °С із з поглинанням тепла.
Вміст вологи і щільність компонентів шихти наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Вміст вологи і щільність компонентів доменної шихти

Найменування компонентів шихти	Вміст вологи % (кг/кг)	Щільність, т /м^3	
		Насипна	Штучна
Кокс	2,0-5,0 (0,03)	0,5	0,9
Залізна руда:			
- гематит	2,0-6,0 (0,04)	1,8	4,0
- магнетит	1,0-3,0 (0,02)	1,9	4,2
- бурий залізняк	8,0-21,0 (0,14)	1,7	3,6
Вапняк	1,5-2,5 (0,02)	1,6	2,8
Агломерат	- -	1,75	2,9
Окатки	0,5-1,5 (0,01)	2,1	3,6

Кількість вологи, що вноситися у піч з шихтою однієї подачі, розраховується з формули:

$$\varphi = \Sigma m_i \cdot \varphi_i. \quad (1.1)$$

Волога, що випарюється з шихти, взаємодіє з вуглецем та його монооксидом по реакціям:

при $<600^0$C: $H_2O+C = H_2+CO_2 +41,3$ МДж, (1.2)

при $>600^0$C: $2H_2O+ C = 2H_2+CO_2 - 81,3$ МДж, (1.3)

при $>1000^0$C: $H_2O + C = H_2 + C - 124,5$ МДж. (1.4)

У зв'язку з тим що нині сирі руди майже не використовуються, виділення вологи гідрату помітного впливу на хід плавки не робить.

Розкладання карбонатів. Карбонати в доменну піч вносяться звичайним вапняком у вигляді кальциту - $CaCO_3$ і магнезиту - $MgCO_3$, доломітизованим вапняком - $CaMg(CO_3)_2$, шпатовим залізняком (сидеритом) - $FeCO_3$ і родохрозитом - $MnCO_3$.

Використання карбонатів в доменній плавці супроводжується їх дисоціацією з поглинанням тепла по загальній реакції:

$$MeCO_3 \rightarrow MeO + CO_2 - Q. \quad (1.5)$$

Тиск дисоціації вищенаведених карбонатів залежить тільки від температури. Формули цієї залежності, щільності і показники дисоціації карбонатів зведені у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Показники дисоціації карбонатів

Формула карбонату	Рівняння залежності P_{CO2} від температури (К)	Штучна щільність т/м^3	Ентальпія дисоціації, мДж/моль	Температура хімічного кипіння, К
$CaCO_3$	lgP_{CO2}= 9,84-9300/T	2,6-2,8	177,2	1183
$CaMg(CO_3)_2$	lg P_{CO2}=8,26 - 6405/T	2,8-2,95	299,0	1053
$MgCO_3$	lg P_{CO2}= 9,59 - 5710/T	2,9-3,2	109,3	880
$FeCO_3$	lg P_{CO2}= 10,06-5430/T	3,7-3,9	104,6	700
$MnCO_3$	lg P_{CO2} = 4,15- 3480/T	3,1-3,7	98,3	760

При рівності значень тиску дисоціації і тиску газу в печі здійснюється хімічне кипіння при незмінній температурі, яка називається температурою хімічного кипіння.

Диоксид вуглецю CO_2, що є продуктом розкладу вапняку, при температурі $>1000^0$C вступає в реакцію з вуглецем коксу:

$$CO_2 + C_к = 2CO - 165{,}8 \text{ мДж/кг·моль}. \qquad (1.6)$$

З метою економії коксу пропонується використовувати вапняк розміром ≤50мм.

Використання в шихті подрібненого вапняку до розмірів 20-50 мм сприяє економії коксу за рахунок збільшення ступеню розкладу до опускання його в зону з температурою $>1000^0$C [3-5].

Застосування офлюсованого агломерату (тобто отриманого з добавкою вапняку в шихту агломерації) і повне виведення вапняку з доменної шихти дозволяє економити кокс. При агломерації процес розкладання вапняку забезпечується спалюванням низькосортного палива (коксику, антрацитового штибу), а не дорогого дефіцитного металургійного коксу.

1.1.3. Фізико - хімічні процеси в доменній печі, що супроводжують виробництво чавуну

Доменна піч працює за принципом протитечії. Шихтові матеріали - агломерат, кокс та ін. - завантажують згори за допомогою засипного (завантажувального) апарату. Назустріч матеріалам, що опускаються, від низу до верху рухається потік гарячих газів, що утворюються при згоранні палива (коксу), а також природного газу.

У доменній печі протікають наступні основні процеси.

Відновлення заліза. Цей процес походить послідовно від вищих оксидів до нижчих і далі до чистого металу: Fe_2O_3 - Fe_3O_4 - FeO - Fe.

Головними відновниками заліза в доменній печі є оксид вуглецю (I) і твердий вуглець коксу. Оксид вуглецю (I) утворюється при взаємодії вуглекислого газу з розжареним коксом:

$$C + CO_2 = 2CO. \quad (1.7)$$

Відновлення оксидом вуглецю називається непрямим відновленням і відбувається по реакціях:

$$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2 + Q, \quad (1.8)$$

$$Fe_3O_4 + CO = 3FeO + CO_2 – Q, \quad (1.9)$$

$$FeO + CO = Fe + CO_2 + Q. \quad (1.10)$$

Відновлення Fe_2O_3 починається при порівняно низьких температурах (400-500^{0}C) у верхній частині шахти печі. У міру опускання рудних матеріалів підвищуються температура і вміст *CO* в доменних газах; при

цьому створюються умови для остаточного відновлення заліза. Ці процеси закінчуються в нижній частині шахти печі при температурах близько 900-950^{0}С.

Значення непрямого відновлення дуже велике. Залежно від умов роботи печі оксидом вуглецю СО відновлюється 60-80% усього заліза. Інша частина заліза відновлюється твердим вуглецем.

Відновлення твердим вуглецем називається прямим відновленням. Воно відбувається при температурах вище 950-1000^{0}С (зона розпарення печі) по реакції:

$$FeO + C = Fe + CO - Q. \quad (1.11)$$

Слід зазначити, що ця реакція відбиває лише кінцевий результат процесу прямого відновлення, який протікає в дві стадії:

$$FeO + CO = Fe + CO_2 + Q, \quad (1.12)$$

$$CO_2 + C = 2CO - Q, \quad (1.13)$$

$$FeO + C = Fe + CO_2 - Q. \quad (1.14)$$

Таким чином, при прямому відновленні витрачається тільки вуглець коксу, хоча реагентом, що взаємодіє з FeO, є оксид вуглецю СО. Безпосереднє відновлення оксидів заліза при контакті з вуглецем коксу практично не відбувається.

Вже в шахті доменної печі при температурах вище 400-500^{0}С разом з відновленням заліза відбувається і його навуглецювання за рахунок оксиду вуглецю СО по реакції:

$$3Fe + 2CO = Fe_3C + CO_2 + Q. \quad (1.15)$$

Карбід заліза Fe_3C добре розчиняється в твердому залізі і поступово утворюється сплав заліза з вуглецем. Зі збільшенням вмісту вуглецю температура плавлення сплаву значно знижується і досягає мінімального значення 1147^0C при 4,3%. У зонах печі з високими температурами - зазвичай в нижній частині шахти - починається плавлення сплаву. Рідкий сплав - чавун, стікаючи вниз, омиває шматки розжареного коксу і додатково інтенсивно вуглецюється. У нім також розчиняються відновлений марганець, кремній, сірка і інші домішки. Кінцевий склад чавуну встановлюється в горні. При цьому велике значення мають склад, властивості і кількість шлаку.

Відновлення інших елементів. У доменну піч з шихтовими матеріалами потрапляють марганець, кремній, сірка і інші елементи у вигляді різних хімічних сполук. Ці елементи частково або повністю відновлюються і входять до складу чавуну, покращуючи або погіршуючи його властивості.

Постійними корисними домішками чавуну є марганець і кремній, шкідливими - сірка і фосфор.

Марганець - постійна домішка залізняку. При виплавці чавунів з підвищеним вмістом марганцю в доменну піч завантажується марганцева руда.

Вищі оксиди марганцю відновлюються до оксиду марганцю MnO окислом вуглецю, аналогічно оксидам заліза : MnO_2 - Mn_2O_3 - Mn_3O_4 - MnO. Закис марганцю відновлюється твердим вуглецем по реакції:

$$MnO + C = Mn + CO - Q. \qquad (1.16)$$

Ця реакція протікає при температурах вище 1100^0C із з поглинанням тепла. Тому для відновлення марганцю вимагається збільшити витрату коксу і температуру дуття. Наприклад, при виплавці дзеркального чавуну з 10-25% Mn витрата коксу збільшується в 2-2,5 разу. Значна частина MnO знаходиться у вигляді силікатів, з яких може бути виділена вапном.

Таким чином, додатковою умовою для збільшення міри відновлення марганцю є достатня кількість вапна CaO в шлаку, тобто його підвищена основність.

Кремній знаходиться в порожній породі руди і в золі коксу у вигляді вільного кремнезему SiO_2 або у вигляді силікатів ($SiO_2 \cdot 2CaO$ та ін.).

Відновлення кремнію походить з кремнезему SiO_2 по реакції:

$$SiO_2 + 2C = Si + 2CO - Q. \qquad (1.17)$$

Мабуть, кремній відновлюється з SiO_2 і карбідом заліза Fe_3C.

Ця реакція протікає з поглинанням тепла при температурах не нижче 1450^0C. Тому для виплавки чавуну з підвищеним вмістом кремнію необхідно значно збільшувати витрату коксу і застосовувати високотемпературне дуття, збагачене киснем. Для збільшення кількості вільного кремнезему в шлаку необхідно зменшувати в ньому вміст вапна CaO, тобто знижувати його основність.

Інші корисні домішки - нікель, ванадій, титан і так далі - потрапляють в доменну піч у вигляді домішок залізняку. При доменній плавці нікель відновлюється і переходить в чавун повністю, хром - на 85-95%, ванадій - на 70-80%.

Фосфор - шкідлива домішка залізняку знаходиться в них головним чином у вигляді $P_2O_5 \cdot 3CaO$. Відновлення фосфору відбувається окислом вуглецю CO, воднем, а також твердим вуглецем. Увесь фосфор, внесений шихтою, відновлюється і переходить в чавун практично повністю.

Сірка - особливо шкідлива домішка в чавуні (а також в сталі). Основна кількість сірки вноситься коксом, частина - залізняком. У доменній печі 10-20% сірки віддаляється у вигляді з'єднань. Інша частина сірки переходить в чавун і в шлак у вигляді сульфідів FeS, CaS та ін. Сульфід заліза FeS добре розчиняється в чавуні.

В умовах доменної плавки основним способом десульфурації, тобто видалення сірки з металу, являється утворення сульфіду кальцію CaS по реакції:

$$FeS + CaO = FeO + CaO + Q. \quad (1.18)$$

Сульфід кальцію CaS не розчинний в чавуні і знаходиться в шлаку. Найінтенсивніше ця реакція протікає при проходженні крапель чавуну через шар шлаку.

З цієї реакції виходить, що однією з основних умов видалення сірки з металу є достатня кількість вапна CaO в шлаку. Видаленню сірки сприяє висока температура в горні; з нагрівом зменшується в'язкість шлаку, що покращує дифузію сульфідів і сприяє відновленню FeO.

Частина сірки віддаляється за допомогою MgO (що завжди міститься в шлаку), а також марганцю по реакціях:

$$FeS + MgO = FeO + MgS, \quad (1.19)$$

$$FeS + Mn = Fe + MnS. \quad (1.20)$$

Сульфід магнію MgS не розчинний в металі, а сульфід марганцю MnS розчиняється трохи. Широке поширення отримало позапічне видалення сірки з чавуну. При витримці його в ковшах-чавуновозах і в міксері частина сірки може переходити з металу в шлак у вигляді сульфіду марганцю MnS, оскільки розчинність цього з'єднання в металі при пониженні температури зменшується. Такий спосіб дає добрі результати при вмісті в чавуні більше 2% Mn.

Одним з випробуваних в промислових масштабах способів позапічного видалення сірки є обробка чавуну у випускному жолобі або в чавуновозі содою $NaCO_3$ (1% від маси чавуну). Сірка віддаляється по реакції:

$$FeS + NaCO_3 = FeO + Na_2S + CO_2. \quad (1.21)$$

Сірчистий натрій Na_2S, що утворюється при цьому, переходить в шлак. Нині проводять дослідження роботи по дослідженню інших недефіцитних і дешевих реагентів. Шлакоутворення починається приблизно в розпаренні печі.

Первинний шлак утворюється в результаті сплаву CaO, SiO_2, Al_2O_3 і інших оксидів, що знаходяться у складі флюсу і порожньої породи руди. При певних співвідношеннях по масі ці тугоплавкі оксиди можуть утворювати легкоплавкі суміші - сплави з $T_{пл}$ = 1150-1200^{0}C. Стікаючи вниз і накопичуючись в горні, шлак істотно змінює свій склад. В результаті взаємодії з розплавленим чавуном і залишками незгорілого коксу в шлаку відновлюються оксиди заліза і марганцю, в ньому розчиняються FeS, MnS, зола коксу і так далі. Хімічний склад шлаку визначає склад чавуну і тому при виплавці передільних, ливарних і інших чавунів завжди підбирають шлак відповідного складу. Типовий склад шлаку: 40-50% CaO; 38-40% SiO_2; 7-10% Al_2O_3.

1.2. Інтенсифікація доменного процесу

1.2.1. Методи інтенсифікації доменного процесу

Під інтенсифікацією доменного процесу розуміють збільшення швидкості його протікання. Мірою інтенсивності ходу доменної печі є кількість чавуну, що отримується в одиницю часу з розрахунку на одиницю корисного об'єму доменної печі. В умовах виробництва прийнято

користуватися зворотною величиною - корисним об'ємом печі, що витрачається в течії доби на виплавку 1 т чавуну. Цей показник називається коефіцієнтом використання корисного об'єму доменної печі і визначається як частка від ділення корисного об'єму печі $V_{кор}$ ($м^3$) на добову продуктивність печі Т (т) чавуну/доб. Чим менше цей показник, по абсолютному значенню, тим інтенсивніше протікає процес, інтенсивніше хід доменної печі.

Збільшити інтенсивність ходу доменної печі можна двома шляхами:

1. Створення умов, при яких в горн доменної печі в одиницю часу можна подати більшу кількість дуття, що витрачається на згорання вуглецю пального.

2. Створення умов, що забезпечують зниження витрати коксу на одиницю чавуну, що виплавляється, якщо кількість дуття, що поступає в горн в одиницю часу, не знижується або знижується в меншій мірі, чим витрата коксу.

При збільшенні кількості дуття, що подається в горн в одиницю часу, відповідно збільшується кількість вуглецю, що згорає в одиницю часу, а отже, збільшується і продуктивність печі. При зменшенні відносної витрати пального і незмінній кількості дуття продуктивність печі також зростає внаслідок збільшення рудного навантаження на кокс. Найбільш висока міра інтенсифікації процесу досягається, коли одночасно зі збільшенням кількості дуття є можливість зменшити і відносну витрату пального.

Збільшення інтенсивності ходу доменної печі шляхом збільшення витрати дуття в одиницю часу припускає поліпшення газодинаміки процесу. Це може бути досягнуто підвищенням міцності агломерату, відсіванням дрібних фракцій і поліпшенням однорідності гранулометричного складу шихтових матеріалів, підвищенням тиску газів в робочому просторі печі, зниженням відносного виходу шлаку і поліпшенням його фізичних властивостей.

Збільшення інтенсивності ходу доменної печі шляхом зниження відносної витрати коксу припускає зменшення теплових витрат на процес і застосування замінників коксу в ролі теплоносія і відновника.

Основними методами інтенсифікації доменного процесу є:

1. Вдосконалення способів підготовки і поліпшення якості сирих матеріалів.

2. Високотемпературний нагрів дуття.

3. Зволоження дуття.

4. Збагачення дуття киснем.

5. Вдування в горн добавок.

6. Комбінування дуття.

7. Підвищення тиску газів в робочому просторі доменної печі.

Найбільш важливою за своїм значенням являється підготовка сировини до плавки.

Нагрів дуття. Уперше нагріте дуття в доменному виробництві застосували в 1829 р. Незважаючи на порівняно невисокий нагрів дуття (150 ^{o}C), показники роботи печі значно покращали: відносна витрата пального зменшилася на 30 %, продуктивність печі зросла, з'явилася можливість збільшити кількість дуття. При цьому витрата горючого на нагрів дуття була набагато нижче отриманої економії. Згодом застосування більше нагрітого дуття (350-400 ^{o}C) на коксових доменних печах дозволило зменшити відносну витрату коксу на 25-35 %. Нині дуття нагрівають до 1100-1200 ^{o}C і вище.

За всю історію існування доменного виробництва жоден захід не дав такого зниження витрати пального, як застосування нагрітого дуття.

Зволоження дуття. Природна вологість повітря коливається в значних межах як в течії доби, так і по часах року. Коливання вологості дуття викликають зміни в тепловому і температурному режимі горна і в ході відновлення, що нерідко призводить до розладів ходу печі, погіршуючи техніко-економічні показники.

Усунути коливання природної вологості можна двома способами: осушенням дуття і зволоженням дуття в таких межах, щоб вологість його була дещо вищий за природну, але постійною в часі.

Збагачення дуття киснем.

При збагаченні дуття киснем змінюються наступні показники:

1. Зменшується витрата дуття на одиницю спалюваного у фурм вуглецю.

2. Зменшується кількість горнового газу на одиницю спалюваного у фурм вуглецю.

3. Підвищується концентрація оксиду вуглецю в горновому газі.

4. Значно зростає температура в зоні горіння.

При збагаченні дуття киснем знижується перепад тиску газів між горном і колошником внаслідок зменшення виходу горнового газу на одиницю спалюваного вуглецю і швидкості руху газів в стовпі шихтових матеріалів.

Вдування в горн природного газу і інших добавок до дуття.

При вдуванні природного газу у кількості 70-90 $м^3$ на 1 т чавуну витрата коксу зменшується на 10-14 %. Економія коксу при вдуванні природного газу досягається за рахунок:

1. Збільшення непрямого і зменшення прямого відновлення.

2. Заміни частини вуглецю коксу вуглецю природного газу.

3. Зменшення приходу сірки в піч, основності і виходу шлаку внаслідок зменшення витрати коксу, що викликається першими двома чинниками.

Комбіноване дуття. Комбінованим прийнято називати дуття, що включає добавки як у вигляді окисників (кисень, пара), так і відновників (природний газ, коксовий газ, мазут пиловугільне паливо та ін.). Найбільше поширення отримало поєднання збагачення дуття киснем з вдуванням природного газу.

Основний позитивний ефект при вдуванні природного газу полягає в значному скороченні витрати коксу, а при збагаченні дуття киснем - у

збільшенні продуктивності печі. Але досягнення можливого ефекту при вдуванні природного газу обмежується його негативними сторонами - збільшенням кількості горнового газу з пониженням температури в горні, а досягнення можливого ефекту збагаченого киснем дуття обмежується, навпаки, надмірним підвищенням температури в горні.

Підвищення тиску газу. Ідея роботи доменної печі на підвищеному тиску газів була висунена з метою поліпшення відновної здатності газів. Проте позитивна дія підвищеного тиску проявляється не в поліпшенні відновної здатності газів, а в поліпшенні газодинамічного режиму доменної печі, при якому можливе значне підвищення продуктивності і зниження витрати коксу. Підвищення тиску газу усередині доменної печі досягається шляхом пережиму струменя газу за допомогою спеціального дросельного пристрою, встановленого в газопроводі очищеного від пилу газу. Позитивна дія підвищеного тиску газу полягає в тому, що зі збільшенням тиску зменшується об'єм газу і його швидкість, внаслідок чого зменшуються підйомна сила газу і перепад тиску газу між горном і колошником. Це дозволяє збільшувати масову кількість дуття, не перевищуючи його критичного об'єму.

1.2.2. Застосування в Україні технології доменної плавки з вдуванням пиловугільного палива

У післявоєнні роки у світі почалося активне відновлення і оновлення устаткування доменних печей, будівництво печей великого об'єму, уперше побудованих і освоєних в Україні і Росії по ініціативі вчених ІЧМ. Перед вченими і технологами-доменщиками одним із важливих завдань було зменшення витрати коксу усіма можливими способами, у тому числі шляхом вдування в доменну піч природного газу або пиловугільного палива (ПВП). Технологія доменної плавки з вдуванням природного газу активно розвива-

лася і застосовувалася в СРСР, а технологія плавки із застосуванням ПВП найактивніше розвивалася в європейських країнах і в Японії.

Перші досліди по вдуванню пиловугільного палива в доменну піч були проведені в 1948 році на доменній печі об'ємом 427 $м^3$ заводу ім. Дзержинського в Дніпродзержинську під керівництвом професора В. І. Логінова [8]. Підготовлений вугільний пил підвозився до печі в цистернах, звідки перекачувався в циклон, що вміщував 13-14 тонн пилу. Пил подавався в піч через форсунки, встановлені в чотирьох з дев'яти фурм. При одночасній роботі трьох форсунок максимальна подача ПВП досягала 7 т/год. Оскільки цистерна спорожнялася впродовж 30-60 хв., то безперервна подача пилу в піч тривала не більше за одну годину. В результаті дослідів встановлена можливість та цілесообразність вдування ПВП в доменну піч, досягнута швидкість вдування в горн печі до 20 т/год. Показано, що вдування вугільного пилу в кількості 5-6% загальної витрати коксу дозволяє зменшити останній приблизно на таку ж величину. При вдуванні вугільного пилу з вмістом золи 16-18% і 1,7-3% сірки, якість чавуну не погіршилась.

У 1966 році на ВАТ «Запоріжсталь» була побудована розроблена за технологічним завданням ІЧМ і проекту Укргіпромеза перша в Україні установка для вдування пиловугільного палива в горн доменної печі № 3 об'ємом 1300 $м^3$ (ініціатором і керівником цих розробок був академік З.І. Некрасов) [6]. Вугільний пил подавався від системи пилоприготування одного з котлів ТЕЦ. Пиловугільне паливо фракції менше 0,088 мм подається двокамерним пневмонасосом по двох пилопроводам в циклони осаджувальних пристроїв, де ПВП відділяється від транспортуючого повітря, і далі до розподільних пристроїв у доменної печі, звідки спрямовується до шістнадцяти фурмам доменної печі. При випробуваннях було виявлено нерівномірний розподіл ПВП по колу доменної печі, що зажадало удосконалення системи розподілу палива по фурмам [7].

У 1967 р. в англійському журналі [8] опублікована стаття про застосування ПВП як майбутнього джерела енергії для виробництва чавуну,

де вказано, що першими встановили можливість використання вугілля в доменній плавці вчені СРСР. На початок 1966 р. з вдуванням ПВП у світі працювали 8 ДП - одна в СРСР, 4 в США, 2 у Франції і одна в Англії.

У 1978 році З.І. Некрасовим із співробітниками ІЧМ опубліковані результати досліджень і вдосконалення технології доменної плавки при використанні ПВП, природного газу і збагаченого киснем дуття [8-9]. Показано, що при вдуванні ПВП до 70 кг на тонну чавуну коефіцієнт заміни коксу склав 0,88 кг/кг Трирічна промислова експлуатація установки ІЧМ для вдування ПВП підтвердила надійність в роботі і забезпечення подачі вугільного пилу в горн доменної печі в межах від 40 до 200 т/добу.

У 1980 році завершено будівництво на Донецькому метзаводі промислової установки для вдування ПВП в доменні печі № 1 і № 2 ДМЗ. Застосування цих установок дозволило в 2002-2010 роках забезпечити виплавку чавуну з вдуванням ПВП 120 кг/т чавуну, зменшити витрату коксу з 550 до 420 кг/т, і витрату природного газу на 80%. Це досягнуто шляхом поліпшення якості коксу і використання концентрату вугілля марки «П» для вдування в горн ПВП. Застосування коксу поліпшеної якості дозволило на ДП-2 ДМЗ збільшити витрату ПВП до 165-170 кг/т чавуну без вдування природного газу при застосуванні ПВП з 70% вугілля марки «П» і 30% вугілля марки «Г». Слід зауважити, що досвід вдування ПВП накопичений на доменних печах Донецького МЗ малого об'єму близько 1000 $м^3$, оснащених конусними завантажувальними пристроями, з обмеженими можливостями управління розподілом шихти і газів по радіусу печей. Мабуть з цієї причини в роботах С. Л. Ярошевського та ін. [10,11] питання управління розподілом шихти і газів по перерізу печі не розглядаються. В той же час в зарубіжних країнах освоєння технології плавки із застосуванням ПВП ведеться на печах більшого об'єму, оснащених безконусними завантажувальними пристроями, що істотно збільшує можливості управління процесом.

У роботі [12] виконаний аналіз досвіду застосування ПВП на Донецькому металургійному заводі і металургійних заводах Європи, Китаю і

України в 1980-2009 рр. показано, що хоча перший патент на доменну плавку із застосуванням ПВП був виданий ще в 1831 р., перші дослідження, досліди і реалізація технології почалися тільки в шестидесятих роках минулого століття. Представлені технологічні вимоги до якості шихтових матеріалів і вугілля для вдування пилу в ДП, показано, що для ефективного використання ПВП потрібне застосування високоякісного коксу, збільшення температури дуття і збагачення його киснем. Недоліком представлених в роботах [13,14] матеріалів розробок і рекомендацій являється їх жорстка прив'язка до умов роботи доменних печей малого об'єму, оснащених конусними ЗУ, що утрудняє їх використання і поширення на інших заводах України.

У 2010 р. на Алчевському меткомбінаті введені в експлуатацію установки для вдування ПВП на доменних печах № 1 об'ємом 3000 $м^3$, оснащених лотковим БЗУ і № 5 об'ємом 1719 $м^3$ з конусним ЗУ, продовжується будівництво нової доменної печі об'ємом 4440 $м^3$, яка буде оснащена безконусним ЗУ з лотковим розподільником і установкою для вдування ПВП. Оцінка першого досвіду освоєння технології плавки з вдуванням ПВП на ДП №1 і №5 АМК показала, що ДП №5 меншого об’єму з конусним ЗУ працює стабільніше при витраті ПВП 137 кг на тонну і більшій витраті коксу високої якості 421,9 кг/т чавуну, а ДП-1 більшого об'єму, оснащена БЗУ, працює з витратою ПВП 160 кг/т і витратою коксу гіршої якості 396,7 кг/т, але з недостатньо стабільним виконанням плану по виробництву чавуну на рівні 95,2%. Це підтверджує необхідність аналізу і вдосконалення технології плавки при вдуванні ПВП на ДП-1 і ДП-5. Тут слід реалізувати нові досконаліші прийоми контролю і управління розподілу шихти, газів і тепла по перерізу і висоті доменної печі.

Для успішного освоєння технології доменної плавки із застосуванням пиловугільного палива на металургійних заводах України, окрім вдосконалення шихтових умов і вибору вугілля для пиловдування, необхідно розробляти прийоми управління тепловим станом доменної плавки в горні і по усій висоті печі, засоби контролю і способи управління розподілом шихти

і газів в доменних печах різного об'єму, оснащених сучасними завантажувальними пристроями [15].

Найважливішим перспективним напрямом розвитку і вдосконалення доменного виробництва є розроблене і реалізоване вченими ІЧМ на доменних печах України і Росії будівництво доменних печей великого об'єму (ДП-9 Криворіжсталі, ДП-5 Северосталі і ДП-6 НЛМК) і оснащення їх сучасними безконусними завантажувальними пристроями [16]. Найактивніше і оперативний цей напрям розвитку і підвищення економічної ефективності доменного виробництва було реалізовано в Японії [17], де з 1965 до 1991 року середній об'єм доменних печей збільшений з 1000 $м^3$ до 3000 $м^3$, а максимальний об'єм з 2000 $м^3$ до 5700 $м^3$. При цьому практично усі нові доменні печі оснащувалися безконусними завантажувальними пристроями, установками для вдування ПВП і сучасними засобами контролю процесу плавки. В результаті радикальної зміни об'єму доменних печей і зменшення їх кількості з 70 до 40, питома виплавка чавуну на одного працюючого в доменному виробництві Японії збільшилася з 500 т/людину у рік до 1600 т/людину. Цей напрям активно реалізується в Германії і інших країнах, його реалізацію необхідно активізувати на Україні. Слід звернути увагу на ту обставину, що радикальне зменшення кількості доменних печей істотно впливає на кількість установок для вдування ПВП і на чисельність персоналу в доменних цехах. З цих міркувань прийнятий в Японії і Європі стратегічний підхід до модернізації і удосконалення устаткування доменних цехів з метою зменшення енергетичних і трудових витрат, утилізації газів, що відходять, тепла і шлаків, на нашу думку, найбільш ефективний і доцільний [17-20].

За останні 20-30 років кількість наявних доменних печей (39 ДП) в Україні практично залишається незмінною, а в експлуатації в 2009 році знаходилися 33 доменних печі із загальним корисним об'ємом 55908 $м^3$, з яких 6 ДП оснащено БЗУ, а 4 ДП знаходилися на капітальному ремонті. Одним з найважливіших завдань металургів України являється збільшення

внутрішнього споживання металопродукції [21], для чого необхідно отримувати високоякісну вітчизняну кінцеву продукцію.

В ІЧМ разом з дослідженнями і вдосконаленням технології доменної плавки з використанням ПВП ведуться розробки та дослідження по застосуванню альтернативних енергозберігаючих технологій з використанням інших енергоносіїв [22].

1.3. Висновки

Представлений аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду застосування пиловугільного палива з метою заміщення дефіцитних дорогих енергоносіїв у виробництві чавуну і зменшення його вартості. Показано, що найбільш доцільний шлях зменшення енергетичних і інших виробничих витрат полягає у будівництві доменних печей великого об'єму, оснащення їх безконусними завантажувальними пристроями, устаткуванням для вдування пиловугільного палива і сучасними засобами контролю процесу плавки. Виконання вченими ІЧМ комплексу теоретичних і прикладних досліджень дозволить забезпечити застосування на вітчизняних металургійних заводах економічно ефективній технології доменної плавки з використанням пиловугільного палива і інших енергоносіїв.

Викладене дозволяє сформулювати наступні завдання, які потребують оперативного рішення вченими і фахівцями доменщиками, а також дослідно-експериментальної перевірки прийомів вдування ПВП, забезпечення повного згорання часток пилу, вибору раціональних режимів дуття, розподілу шихтових матеріалів і газового потоку по перетину печі. Для ефективного і обґрунтованого вирішення головного завдання - зменшення витрати коксу і природного газу при забезпеченні стабільної і високопродуктивної роботи доменних печей - необхідно активізувати нові

розробки і забезпечити їх реалізацію на доменних печах України. З цією метою необхідно виконати наступні дослідження і розробки, що спираються на наявні в ІЧМ наукові знання і досвід їх реалізації на доменних печах різного об'єму, оснащених сучасним устаткуванням і новими засобами автоматизованого контролю параметрів плавки і розподілу шихти і газів [7-13]:

1. Вивчити вплив режимів вдування ПВП на зміну параметрів плавки, доцільність використання природного газу в обмеженому об'ємі, пари, інших компонентів. Дослідити вплив режимів роботи печі на зміну параметрів плавки і розподіл газів по перерізу і висоті шахти доменної печі, що необхідно для створення і реалізації технології виплавки чавуну із застосуванням ПВП і меншою витратою дорогих енергоносіїв.

2. Оцінити необхідність і особливості управління газовим потоком, у тому числі інтенсивністю руху газів в осьовій і периферійній зонах печі.

3. Визначити доцільну величину додаткового тепла і кисню, необхідних для інтенсифікації горіння часток ПВП і організації стабільних умов роботи горна доменної печі.

4. Вибрати раціональний склад і об'єм коштів контролю та управління, необхідних для забезпечення стабільного і ефективного процесу плавки із застосуванням ПВП.

РОЗДІЛ 2
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДИХ ЗАМІННИКІВ КОКСУ

2.1. Розробка та освоєння технології доменної плавки з заміною частини коксу антрацитом

2.1.1. Теоретичні передумови заміни частини коксу антрацитом

Позитивні результати заміни коксу кусковим вугіллям досягалися за різних умов плавки [11], проте протягом достатньо коротких періодів. В той же час відомо, що ускладнення технології пов'язані з накопиченням негативних явищ в ході тривалого функціонування процесів (руйнування шматків з міграцією продуктів руйнування в міжкускових порожнечах, шлаку та ін.).

Подолання цих ускладнень вимагає безперервного відстеження параметрів ходу плавки і підстроювання їх до умов, що змінюються [12]. Такий підхід не був поки реалізований. Крім того, при виборі параметрів завантаження і складу завантаженої шихти зазвичай враховують поведінку матеріалів в шахті, хоча основний вплив продукти руйнування коксу і вугілля надають в області коксової насадки.

З метою вивчення цього питання раніше вивчений комплекс високотемпературних властивостей коксу і вугілля в насадці [13] і показана можливість за всіх умов і різної якості вугілля ефективно управляти процесом фільтрації розплавів через насадку шляхом підбору матеріалів різної відносності, окисленості і основності із завантаженням їх в задані зони печі. Це дозволяє уникнути небажаних наслідків накопичення дрібних фракцій вугілля в коксовій насадці.

Вказаний системний підхід до розробки технології заміни частині коксу вугіллям був покладений в основу довготривалої програми реалізації даної технології на ВАТ "Криворіжсталь" (в даний час ВАТ Арселорміттал Кривий Ріг), НМетАУ і ІЧМ НАН України.

Програма включала комплекс питань спеціальної підготовки вугілля, способи завантаження його в доменну піч і поєднання із залізорудними матеріалами, що володіють потрібними для вирішення поставленого завдання властивостями, безперервне відстеження ходу процесів плавки, складу і температури чавуну і шлаку з виявленням тренда процесів і підбором параметрів для досягнення цільових значень показників доменної плавки.

При використанні антрациту прийнятий спосіб його завантаження спільно із залізорудною частиною шихти, що виключає "засмічення" коксових шарів при руйнуванні вугілля і сприяє взаємодії вугільної дрібниці, що утворюється, з киснем шихти. При цьому, проте, зменшується товщина коксових шарів, що може ускладнити газодинамічну характеристику зони розм'якшення - плавлення за рахунок скорочення площі "коксових вікон або віддушин".

В ході спостережень встановлено, що для конкретних технологічних і сировинних умов існує мінімальна величина подачі, що забезпечує нормальну фільтрацію газів через "коксові вікна". Зменшення її ускладнює хід процесів і приводить до нестійкості газодинамічного і теплового режимів плавки. Через це при значному скороченні питомої витрати коксу з будь-якої причини потрібне відповідне збільшення розміру подачі, яке збереже необхідну площу "коксових вікон».

При заміні коксу антрацитом необхідну величину подачі визначали по формулі:

$$МП > МП_б – К_б / (К_б - У·КЗ) \qquad (2.1)$$

де: МП, $МП_б$ - маса коксової подачі відповідно в режимах із заміною коксу вугіллям і в базовому, т;

$К_б$ - питома витрата коксу в базовому режимі, кг/т чав.;

У - кількість поданого вугілля на заміну коксу, кг/т чав.;

КЗ - коефіцієнт заміни коксу вугіллям, кг/кг.

Масу коксової подачі в базовому режимі $МП_б$ визначали експериментально на кожній доменній печі і уточнювали у міру зміни технології. При початковій масі коксової подачі, наприклад 10 т, збільшення витрати вугілля до 50 і 100 кг/т чавуну вимагає збільшення маси подачі щонайменше до 11 і 13 т відповідно. Для збільшення розміру подач на доменних печах цеху № 1 ВАТ «Кріворіжсталь» при існуючих об'ємах скипів застосували спосіб завантаження з набором трьох-шести скипів на малий конус. При цьому скипи коксу і залізорудних матеріалів кожної подачі набирали роздільно, наприклад, ААА↓ ККК↓, АААА↓, КККК↓, ААААА↓, КККККК↓ так далі. Це привело до збільшення маси коксу в кожній подачі і відповідно площі "коксових вікон" в зоні пластичного стану.

Вугілля слід завантажувати в скип із залізорудними матеріалами забезпечуючи їх змішування в співвідношенні більше 6 т залізорудних матеріалів на 1 т вугілля. Це сприяє витрачанню основної маси вугільної дрібниці на процеси прямого відновлення залізорудних матеріалів при недопущенні приходу її в горн, що знижує вірогідність захаращення горну.

Технологія подачі збагаченого антрациту в доменну піч включає: на доменній печі в звичайному режимі завантажують сировину по циклічній системі 4КААК↓, ААКК↓, на рівень засипу 1,75 м, маса рудної частини в середньому 37,4 т, при рудному навантаженні 3,46 т/т (маса коксу в подачу 10,8 т). На наступному етапі переводять піч на завантаження роздільними подачами залізорудних матеріалів і коксу за системою АААА↓, КККК↓ на рівень засипу 1,5м.

За формулою (2.1) визначали мінімально допустиму подачу коксу при заміні його вугіллям, наприклад, 40, 80 і 120 кг/т чавуну, що складе відповідно 11,5; 12,3; 13,2 т. Маса антрациту в подачу при його витраті 20,40,60 і 80 кг/т чав. рівна 0,85; 1,7; 2,5 і 3,4 т при ваговому співвідношенні з агломератом 28,5-114. При збільшенні подачі вугілля до 5, 7 і 14 т теоретично питому витрату вугілля можна довести до 115,160 і 320 кг/т чав., при цьому вагове співвідношення суміші агломерату з вугіллям в кожній подачі складе 6,9 - 19,4, але для цього треба відпрацювати технологію змішування вугілля із залізорудними матеріалами і розподілу його по радіусу колошника печі. При коливаннях рудної частини 84-97 т в подачу це співвідношення рівне або більше 6 т залізорудних матеріалів на 1 т вугілля. Вказані маси в 5, 7 і 14 т вугілля в суміші з агломератом при чотирьохскипової системі завантаження вміщаються в скип, що має корисний об'єм 17 $м^3$ і вантажопідйомність 35 т.

Основними видами кускового палива в доменній плавці протягом всієї історії були деревне вугілля, антрацит і кокс.

Окрім функції енергоносія (теплоносія і відновника) кускове паливо виконує функцію твердої насадки в зоні розм'якшення і плавлення залізовмісних матеріалів. Вказана функція, на відміну від першої, не може заміщатися іншими видами палива, а її роль зростає у міру скорочення загальної витрати палива.

Крім властивостей, традиційно використовуваних при аналізі кускових палив (хімічний склад, реакційні властивості, кусковатість, міцність в умовах доменної плавки), при розгляді характеру функціонування в насадці важливе значення має насипна щільність. Роль цього параметра визначається тим, що від нього залежить характер акумуляції тепла в об'ємі горна і відповідно теплова реакція системи коливання приходу тепла з газом і споживання його продуктами плавки: чим більше насипна щільність (маса одиниці об'єму) насадки, тим більше вона акумулює тепло і більше гасить коливання приходу і витрати тепла в горні. В результаті цього нагрів продуктів плавки стійкіший.

Вивчення динамічних характеристик доменних печей показало [4], що високочастотні коливання з періодом менше 1-2 годин при невеликій амплітуді (1-2 % від загального приходу тепла) практично повністю гасяться в насадці, а коливання нижчої частоти частково пропускаються і приводять до коливань температури і складу продуктів плавки.

Гасіння коливань в насадці дозволяє при однаковій витраті палива і відповідно при постійній висоті насадки отримувати вищий нагрів продуктів плавки.

У разі збільшення коливань для отримання такого ж нагріву потрібно збільшити висоту насадки і відповідно витрату палива для запобігання попаданням в критичну область похолодання. При цьому надлишок тепла витрачається більшою мірою на відновлення кремнію, оскільки зв'язок між вмістом кремнію і температурою продуктів плавки близький до експоненціального [14]: при вмісті кремнію в чавуні до 0,8 % його збільшення складає 0,05-0,10 % на кожних 10 °С додаткової температури чавуну, а при вищому абсолютному вмісті кремнію збільшення складає 0,15-0,25 % на кожних 10 °С додаткової температури чавуну.

Таким чином, роль насадки як акумулятора тепла вельми істотна і залежить від властивостей матеріалу насадки. Для трьох даних видів палива вказані властивості різні. Маса 1 $м^3$ деревного вугілля складає 0,15-0,20 кг, коксу - 0,40-0,55 кг, антрациту - 0,8-0,9 кг [6]. Через це і інерційні властивості насадки різні: у коксу вони в 2,5-3 рази більше, ніж у деревного вугілля і в 2 рази менше, ніж у антрациту.

Вплив цих властивостей на стійкість нагріву горна, позначений М.О. Павловим як зосередження "жару в горні», який в коксовій і антрацитній плавці більше, ніж в деревеновугільній. Відповідно більше і температура продуктів плавки [15].

А.Н. Рамм на основі відомого досвіду приймає для розрахунків температуру чавуну деревеновугільної плавки на 5-10 % меншою, ніж у разі коксівної [17]. Недавній досвід роботи доменних печей Бразилії на деревно-

му вугіллі [8] показав, що температура чавуну нижча, ніж при коксовій плавці, на 50 ^{o}C.

Викладені передумови дозволяють вважати, що результати роботи доменних печей ВАТ «Криворіжсталь» при збільшення нагріву продуктів плавки та заміні частини коксу антрацитом не є випадковими, а цілком обґрунтованими.

2.1.2. Ресурси вугілля для приготування пиловугільного палива

У 2004 році в світі для виробництва пиловугільного палива (ПВП) для доменних печей використано близько 50 млн. т вугілля, як правило, наступних марок: Г, А, П.

Теоретичні розрахунки і світовий досвід показують, що для виробництва ПВП найефективніше використовувати вугілля з низьким вмістом золи і сірки. Як правило, рівень цих показників має бути нижче за вміст золи і сірки у використовуваному на підприємстві коксі.

Вміст летких в ПВП може змінюватися в широких межах і визначається, передусім, кон'юнктурою цін і ефективністю застосування вугілля в конкретних технологічних умовах.

Для приготування ПВП доцільно використовувати вугілля і їх концентрати, які непридатні (малопридатні) для виробництва коксу.

На підставі вітчизняного і зарубіжного досвіду для приготування ПВП рекомендуються вугілля і їх концентрати з такими характеристиками: вміст золи і сірки - відповідно до 10-12% і 1,5-2,0%; вологість - до 10-12%; крупність - до 50-80 мм.

Відповідно до вищезгаданих вимог і існуючого стандарту ДСТУ 3472-96 в умовах України для приготування ПВП можуть бути використане вугілля і їх концентрати наступних марок: Т, А, Г і в меншій мірі - Д, ДГ.

Найбільш відповідним є вугілля і їх концентрати марок П, А і Г (остання при дотриманні додаткових заходів в процесі підготовки і використання ПВП).

Пиловугільне паливо, що вдувається в доменні печі, зазвичай характеризується відсотковим вмістом якоїсь певної фракції або середнім розміром часток.

Розмір часток вугільного пилу істотним чином впливає на час її згорання у фурменій зоні доменної печі.

Найбільш поширеною методикою розрахунку часу горіння вугільних часток є метод ВТІ [14]. Він базується на емпіричних формулах, отриманих для умов горіння поодиноких часток, і полягає у визначенні протікання окремих стадій процесу горіння (їх чотири - прогрівання часток до займання летких, вигорання летких, прогрівання коксового залишку до займання і вигорання коксового залишку), значення яких потім підсумовуються.

Нижче приведені узагальнені формули для розрахунку часу протікання цих стадій :

$$\tau_1 = \kappa_1 \cdot 5{,}3 \cdot 10^{14} \cdot T_A^{-4} \cdot d^{0{,}8} \ , \qquad (2.2)$$

$$\tau_2 = \kappa_2 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{6} \cdot d^{2} , \qquad (2.3)$$

$$\tau_3 = \kappa_3 \cdot 5{,}36 \cdot 10^{7} \cdot T_{\Gamma}^{-1{,}2} \cdot d^{1{,}5} , \qquad (2.4)$$

$$\tau_4 = \kappa_4 \cdot 2{,}21 \cdot 10^{8} \cdot (100 - A_C)/100 \cdot \rho_K \cdot d^{1{,}5} / T_A^{0{,}9} / O_2 \ . \qquad (2.5)$$

де $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ - час прогрівання часток до займання летких, вигорання летких, прогрівання і вигорання коксового залишку відповідно, *с*;

k_1, k_2, k_3, k_4 - досвідчені коефіцієнти, залежні від марки вугілля;

$T_г$ - температура довкілля, К;

d - середній початковий розмір частки, м;

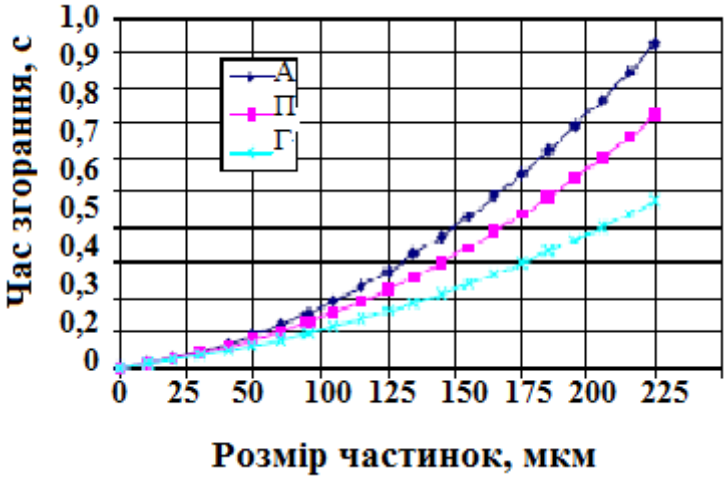
A_C - зольність коксового залишку, м^3/м$^{3;}$

O_2 - об'ємна концентрація кисню, долі;

p_k - уявна щільність коксового залишку, кг/м^3.

На рисунку 2.1 приведені результати розрахунку за наведеною вище методикою для трьох марок вугілля: антрацит (А), газовий (Г) і пісний (П). Дані рисунку 2.1 дають уявлення про вплив розміру частки вугілля і технічного аналізу вугілля на тривалість часу згорання: зі збільшенням розміру часток час згорання зростає по експоненті, при збільшенні вмісту вуглецю у вугільній частці збільшується її час згорання (час згорання зростає при переході від марки вугілля «Г» до «П» і «А»).

В цілому запаси вугілля в Україні, в т.ч. придатного для приготування ПВП, оцінюються в 3,6-4,8 млрд. т (в т.ч. по Донбасу запаси вугілля марки П оцінюються в 0,46 млрд. т), що вказує на реальну можливість розширення здобичі необхідних марок вугілля.



А - антрацит, Г – газове вугілля, П – пісне вугілля.

Рисунок 2.1 - Залежність часу горіння від розміру вугільних часток.

Можна вважати, що на початковому етапі широкого застосування ПВП в доменному виробництві України реальними матеріалами для приготування ПВП будуть концентрати (збагачене вугілля) марок А, АСШ, АС, АТ, Т, ТС,

Г, а також Д і ДГ. Вказане вугілля (концентрати) може використовуватися для приготування ПВП як в якості єдиного шихтового компонента, так і виді суміші з 2-х або 3-х вугіль, що також має технологічні переваги і широко використовується у світовій практиці.

Таким чином, очевидно, що пиловугільні комплекси підприємств України мають бути універсальними, тобто здатними працювати на різних марках концентратів (вугілля), виходячи з кон'юнктури, що склалася на даний момент, і економічної доцільності.

Наприклад, в 2004 р. в цілому по Україні були зроблені вугільні концентрати (продукти збагачення вугілля) в наступній кількості: марок АК, АТ, АМ, АС (з вмістом золи від 4,2 до 10,7% і сірки до 1,8% - усі енергетичні) - 3,02 млн. т; марки Г (з вмістом золи 7,8% і сірки 1,8% - усе для виробництва коксу) - 3,8 млн. т; марки П (відповідного для виготовлення ПВП) - практично не робили. Основними постачальниками концентратів марок антрациту є вугільні підприємства Луганської області України.

Основними постачальниками концентратів марки Г є вугільні підприємства Донецької області України. Аналіз показує, що поступове збільшення об'єму застосування ПВП в доменному виробництві України у результаті зумовить зміну балансу вироблюваних вугільних концентратів, складу шихт для коксування і, що особливо важливо, зменшує обсяг виробництва коксу і забезпечить можливість поліпшення його якості.

Відомо, що витрати вугілля на виробництво 1 т коксу і 1 т ПВП рівні, відповідно, 1,3 і 1,1 т/т, а коефіцієнт заміни коксу ПВП - 0,8-0,9. При впровадженні ПВП-технології на об'єм виплавки чавуну близько 24 млн. т/рік (приблизно 80% від досягнутого рівня виплавки чавуну в Україні) і питомій витраті ПВП 150 кг/т чавуну знадобиться 3,6 млн. т в рік ПВП; в цьому випадку буде зменшена витрата коксу на виплавку чавуну сумарно на 3,06 млн. т/рік.

Виходячи з фактичної долі марок вугілля в коксових шихтах коксохімічних підприємств України і вказаного коефіцієнта 1,3 це зменшення витрати

коксу дозволить отримати економію витрати основних марок вугілля в наступній кількості, тис. т/рік: Г - 891,0; ПК - 362,0; Же - 1133,7; До - 914,9; ОС - 218,8.

Таким чином, з коксохімічного виробництва для приготування ПВП вільно може бути передано, як мінімум, 891 тис. т/рік вугільного концентрату марки Г, що від загального об'єму необхідною концентрату для отримання ПВП складає 22,5%. Крім того, технологічно ефективні марки вугілля для отримання коксу (Ж і К) можуть "витіснити" з вугільних шихт менш цінні марки вугілля загальною масою до 1133,7+914,9 = 2048,6 тис. т/рік, придатних для отримання ПВП. Отже, масштабна організація виробництва ПВП може бути здійснена приблизно на 75% на наявних концентратах в коксохімічному виробництві України, тобто без значних капітальних вкладень в підготовку цих концентратів. В той же час, впровадження ПВП-технології в повному об'ємі (на 24 млн. т чавуну/рік) зажадає організації додаткового виробництва вугілля (концентратів) марок А і П в об'ємі близько 1,0 млн. т/рік (а отже і відповідних капітальних вкладень).

Розрахунок показує, що резерв вугілля марок, що з'являється, Ж і К в об'ємі 2048,6 тис. т/рік і зменшення потреби коксу на 3,06 млн. т/рік дозволить збільшити долю цього вугілля від 28,5+23,0 = 51,5% до 60,3%, тобто на 8,8%. Це забезпечить істотне поліпшення якості коксу. На зарубіжних підприємствах значне застосування газового вугілля для приготування ПВП, мабуть, покращувало склад шихт для коксування і, відповідно, якості коксу.

В умовах підприємств України комплекси для приготування ПВП мають бути універсальними, тобто здатними працювати на різних марках вугілля (концентратів), в т.ч. на початковому етапі освоєння цієї технології вони повинні забезпечувати роботу при значних витратах газового вугілля (у кількості не менше 25% від загальної їх витрати). Масштабна організація виробництва ПВП може бути здійснена приблизно на 75% на наявних концентратах в коксохімічному виробництві, тобто без значних капітальних вкладень в підготовку цих концентратів.

Впровадження ПВП-технології в повному об'ємі зажадає організації додаткового виробництва вугілля (концентратів) марок А і П в об'ємі близько 1,0 млн. т/рік. Освоєння ПВП-технології в повному об'ємі на підприємствах України дозволить помітно поліпшити склад вугільних шихт для коксування за рахунок збільшення в них долі вугілля марок Ж і К від 51,5% до 60,3%, і, як наслідок, поліпшити якість доменного коксу.

2.1.3. Підготовка антрациту до доменної плавки

Комплекс питань спеціальної підготовки вугілля визначений в патенті [9]. Автори винаходу, ґрунтуючись на тому, що вміст летючих і волога в антрациті в середньому однакова, а шматки антрациту розриваються на частини при нагріванні не тільки за рахунок збільшення тиску летючих в порожнинах шматків, але і в результаті нагріву вологи в мікро- і макротріщинах, запропонували спосіб видалення вологи з шматків антрациту і закупорки тріщин для запобігання повторному накопиченню вологи при транспортуванні і завантаженні антрациту в доменні печі. З видаленням вологи шматки антрациту при нагріванні руйнуються в 2-2,5 разу менше, ніж початковий сирий антрацит, а обробка шматків вугілля полімером підвищує на 25-30 % механічну міцність шматків. Автори, відштовхуючись від способу виробництва твердого палива – термоантрациту, який включає обезводнення кускового вугілля (антрациту) методом повільного нагрівання до 1150-1400 °С без доступу повітря, відзначають, що нагрітий антрацит втрачає вологу і покращує свої термічні і механічні властивості. Таке паливо по своїх технологічних властивостях не поступається навіть коксу. Проте недоліком термоантрациту, вважають автори цього способу, є його дорожнеча порівняно з сирим антрацитом, яка викликана великими витратами енергії на обезводнення антрациту при повільному нагріванні.

Промислові запаси антрацитов в Донбасі (13,8 млрд. т) вже перевершують запаси вугілля, що коксується (9,8 млрд. т) [19].

Спосіб збагачення вугілля (антрациту) включає його обезводнення за рахунок обробки шматків вугілля магнітним (електромагнітним) полем і зашиті зовнішній поверхні шматків від повторного проникнення в них атмосферною або іншої вологи.

Обробка кускового вугілля магнітним полем, замість дуже тривалого нагрівання, обумовлює значно менші витрати енергії на обезводнення вугілля, завдяки чому ціна такого палива істотно знижується, що робить його економічно зручним для використання замість металургійного коксу і в інших областях. Захист зовнішньої поверхні шматків вугілля від повторного проникнення у нього атмосферною або іншої вологи, забезпечує збереження властивостей здобутого палива під час його транспортування до споживача, яке теж істотно знижує втрати виробництва.

Реалізується спосіб збагачення вугілля (антрациту) таким чином. На вантажній ділянці збагачувальної фабрики над конвеєрною стрічкою, яка завантажує вугілля у вагони, розташовують електромагнітний випромінювач і розпилювач водного розчину синтетичного полімеру. Відстань випромінювача і розпилювача до поверхні конвеєрної стрічки вибирають з умови рівномірного розпилювання розчину і опромінювання всього пласта вугілля, яке рухається разом із стрічкою. При русі стрічки з шматками вугілля вони перетинають магнітне поле випромінювача і волога (вода), що знаходиться в тріщинах, змінює ряд своїх властивостей, у тому числі і властивість змочувати тверді поверхні. При цьому зменшуються сили зв'язку молекул води з поверхнями тріщин, пружні сили яких видавлюють воду з простору (об'єму) тріщин і закривають їх (у фізиці руйнування це звучить: "...тріщина закрилася"). Деяка кількість молекул води може залишитися в середині вже закритої тріщини, по істотного впливу на властивості вугілля вони не роблять. Треба відзначити, що якщо тріщина не закрилася, тобто пружні сили не спрацювали, то ми маємо справу вже не з тріщинами, а з таким шматком вугілля, який

ще не розпався, але вже і не суцільний, а складається з двох або декількох фрагментів того ж шматка.

Захист від повторного проникнення вологи в мікро- або макротріщини вугілля, досягається покриттям зовнішньої поверхні шматків вугілля полімерною плівкою, яку наносять розпилювачем водного розчину полімерів або методом занурення вугілля в такий розчин. У обох випадках розчин опромінюють магнітним полем. Плівка при цьому утворюється через деякий час після того, як значна кількість розчину полімерів стече з поверхні шматка, а та частина, яка завдяки високій адгезії полімерів до вугільної поверхні, затримається на ній, через деякий час затвердіває, головним чином, біля входу в тріщину, блокуючи її .

На більшій, щодо гладкої (без руйнівних дефектів) частини поверхні антрациту полімерної плівки не утворюється. полімерні частинки стікають разом з водою. Проте, на такій поверхні може з'явитися тільки вільна зовнішня вода, яка небезпеки при нагріванні не представляє, оскільки при нагріванні випаровується, не руйнуючи шматки вугілля.

Спеціальні дослідження на ЦЗФ "Комендантська" показали, що полімерна плівка не тільки захищає шматки вугілля від проникнення в них вологи, але підвищує і їх механічну міцність, яка теж сприяє поліпшенню технологічних властивостей цього палива для доменного виробництва. Якщо врахувати, що антрацити Донецького басейну включають сірки на 0.4-0,6 % і золи на 5-6 % менше ніж кращий металургійний кокс, а орієнтовна ціна, підготовленого за запропонованою технологією палива, приблизно на 20-25 % нижче, ніж ціна коксу, то видно очевидні переваги такого палива для часткової заміни коксу антрацитом, який може не тільки покривати недолік металургійного коксу, але має економічні і екологічні переваги навіть за відсутності дефіциту коксу.

Для завантаження в доменні печі меткомбінату "Криворіжсталь" використовувався збагачений антрацит ГЗФ "Вахрушева" сорт АКО-25-100 розміром 25-100 мм і ЦЗФ "Комендантська" сортів АТ (крупністю 25-50 мм) і

АК (крупністю 25-100 мм), який проходить попередню підготовку за технологією НВЦ «Екосфера» (м. Луганськ).

2.1.4. Використання антрациту в доменній печі

Патент на вдування ПВП у фурми доменних печей виданий Гескампу в 1926 р. В перше ця ідея використана на заводі ім. Дзержинського в 1950 р., а в сімдесяті роки минулого століття ПВП почали застосовувати на Карагандинському, Західносибірському металургійних заводах, заводі «Запоріжсталь», а також Донецькому металургійному заводі [18]. Надалі на перших трьох металургійних заводах відмовилися від використання ПВП у зв'язку з недостатньою якістю установок підготовки і подачі ПВП до доменних печей, а також низькими цінами на природний газ і простотою устаткування по його використанню.

До теперішнього часу в Україні ПВП використовують тільки на Донецькому металургійному заводі, а на ВАТ «Запоріжсталь» в 2011 р. завершилося будівництво нової установки по вдуванню ПВП для чотирьох доменних печей.

Використання ПВП в доменних печах при порівняно високих капітальних витратах на системи його підготовки і подачі до печей, а також його розподіли по фурмам, порівняно швидко окупається за рахунок:

- менших цін на вугілля;
- економії капітальних витрат від виведення із ладу застарілих коксових печей і зменшення викидів в атмосферу при зниженні обсягів коксохімічного виробництва;
- зменшення долі низькоякісного вугілля для виробництва коксу, що дозволить поліпшити його якість;

- зниження поточних витрат при вищому коефіцієнті заміни коксу вугіллям в порівнянні з природним газом.

Нині приблизно третина доменних печей всього світу використовує пиловугільне паливо, при цьому максимальні витрати ПВП коливаються від 150 до 230 кг/т чавуну. При витратах ПВП до 150 кг/т чавуну спостерігається максимальний коефіцієнт заміни коксу - 0,9 кг/кг ПВП; при витратах до 230 кг/кг ПВП - його величина зменшується до 0,8; а при витратах більше 230 кг/т значення коефіцієнта заміни коксу знижується до 0,7 кг/кг ПВП.

Більші витрати ПВП спостерігаються на печах, що мають кращу якість шихти і можливість управління її розподілом, в першу чергу, по радіусу колошника. При максимальних витратах економія коксу досягає 150-180 кг/т чавуну (близько 32% об'єму коксу). На цю ж величину (від 4,3 до 20,5%) збільшується рудне навантаження і опір руху газу λ, який розраховують по формулі:

$$\lambda = \frac{\sqrt[1,7]{(P_Д^2 - P_K^2)}}{V_{ф.г.}}, \qquad (2.6)$$

де $P_Д$, P_K - тиск дуття і колошникового газу, кПа, відповідно;

$V_{ф.р.}$ - об'єм фурменого газу, нм^3/хв.

Збільшення витрати ПВП більше 200 кг/т чавуну відмічено різким підвищенням (на 15%) вмісту вуглецю в пилі і шламі.

Більші витрати ПВП зі збереженням рівного ходу досягнуті на печах з вищими показниками «гарячої» міцності коксу (CSR), відповідні нашим ДСТУ холодній міцності M_{25}.

Сприятливим умовам для збільшення витрати ПВП явився розподіл матеріалів з «центральним» ходом печі [19], яке здійснювали завантаженням більшого коксу в центр колошника, а менш великого - в периферійну і проміжну зони радіусу пошарово із залізорудною частиною.

Встановлено також, що після зупинок печей, працюючих з підвищеною витратою ПВП, виникає дефіцит теплоти в горні. Цей недолік рекомендується усувати або додатковим збільшенням витрати коксу, або тимчасовим збільшенням витрати ПВП, що ефективніше. Крім того, технологічними інструкціями рекомендується припиняти подачу ПВП після того, як витрата дуття зменшується нижче заздалегідь встановленого під час зупинки. Наступна подача ПВП поновлюється після того, як шихта починає опускатися, що сприяє оновленню коксу в заплечиках і мертвій зоні [10].

При вдуванні ПВП відновлення рівного ходу досягається з великими труднощами, чим при вдуванні природного газу. Це пов'язано з його великими витратами і підвищеними коефіцієнтами заміни коксу, що супроводжується «похолоданням» печі при розладах ходу і припиненні подачі ПВП.

Крім того, доменна піч дуже чутлива до порушення графіку випусків чавуну. При зниженій газопроникності із-за підвищеного рудного навантаження кокс знаходиться в печі триваліший час і подрібнюється більшою мірою до приходу в горн, довше знаходиться в зоні циркуляції перед фурмами, утворюючи «пташине гніздо» з дрібнішого коксу і ущільнюючи стовп коксу в центрі печі, що утрудняє дренаж газу і продуктів плавки.

Збільшення витрати ПВП від 130 до 190 кг/т чавуну в печах Японії [17] супроводжувалося посиленням периферійного потоку газів і перегріванням кладки. Було встановлено, що цьому сприяло зміщення фокусу горіння (максимуму диоксиду вуглецю) до торця фурми і зменшення об'єму циркуляційної зони. Причиною цього стала заміна гарячого коксу холодним низькокалорійним вугіллям, чому теоретична температура зменшувалася. Для її збереження дуття збагачували киснем, що супроводжувалося зменшенням витрати і кінетичної енергії дуття. А якщо врахувати, що опір шихти зростає при збільшенні рудного навантаження, то цілком очевидно, що і з цієї причини розмір зони циркуляції зменшується. Для її відновлення швидкість дуття слід збільшити до величини більше 230 м/с. Це можна здійснити як збільшенням висову фурми, так і зменшенням їх перерізу.

Глибину зони циркуляції, за даними компанії «Negro» (Австралія), можна визначити по формулі:

$$L_{з.ц.} = -0{,}390 + 0{,}00505V_{Д} \quad , \qquad (2.7)$$

де $V_д$ - швидкість дуття, м/с.

Відбір проб коксу із зони «тотермана» (нижче за рівень дуттєвих фурм) дозволив встановити зворотну залежність кількості дрібної фракції коксу (- 3 мм) від холодної міцності $Дi_{15}^{150}$ і середнього розміру завантаженого коксу і пряму залежність витрати ПВП і нижнього перепаду тиску газів від вмісту дрібної фракції коксу.

Рекомендується міру подрібнення коксу зменшити частково за рахунок збільшення гарячої міцності CSR, а частково за рахунок завантаження більшого коксу (фракції +45 мм) в центральну зону колошника у вигляді «неодружених» подач, а дрібнішого коксу (фракції +40 мм) із залізорудною частиною - в проміжну і периферійну зони колошника. Це істотно поліпшить газопроникність шихти при високих витратах ПВП.

У доменних печах Канади вдування ПВП почали з 1996 р. [12]. При використанні недостатньо якісного коксу фракції +20 мм, окрім розглянутих вище труднощів, зіткнулися з проблемою налипання ПВП в колінах трубопроводів при транспортуванні його повітрям. Причиною цього став підвищений вміст фракції - 10 мкм. При зменшенні долі розміру фракції - 74 мкм з 80 до 65% вказане явище було усунене. Для збільшення витрати ПВП розмір коксу був збільшений до +20 мм, діаметр фурм був зменшений, а для повного спалювання вугілля застосували наконечник сопла фірми «Кавасакі» (Японія), що покращує дисперсію вугілля в зоні циркуляції.

Як відзначалося, при високих витратах ПВП потрібне істотне поліпшення якості шихти, її класифікації і розподіли в доменній печі [13,14].

Кокс повинен мати максимальне значення показника CSR > 65% і мінімальне значення CRI < 28%.

Доменний кокс після відсівання фракції - 30 мм на рудному дворі повинен проходити механічну обробку для стабілізації його міцності, після чого він повинен мати:

- діапазон гранулометричного складу : фракції +80 мм - менше 10%, фракції - 25 мм - менше 3%, середній розмір шматків - 55 мм;

- механічну міцність M_{40} - більше 80%;

- вміст вологи - менше 4%.

На багатьох заводах використовують коксовий «горішок» в кількості до 120 кг/т чавуну і завантажують його пошарово з рудною частиною шихти.

Залізорудна частина повинна мати максимальне значення $Fe_{общ}/SiO_2$ і переважно складатися з окатишів (до 100%) з меншою долею агломерату. З метою підвищення гарячої міцності і поліпшення газопроникності шихти розширюється використання заздалегідь відновлених окатишів і металобрухту (до 20%). За даними фірми «Коккерель Самбре» (Канада) співвідношення товщини шарів руди і коксу в подачі при збільшенні витрати ПВП до максимальних значень змінюється від 0,47 до 0,73.

Особливу увагу слід приділити складу і властивостям вугілля, а також технології їх підготовки до спалювання в горні. На зарубіжних доменних печах використовують переважно антрацит, жирні, газові і полум'яні типи вугілля. Їх порівняльна характеристика з іншими видами доменного палива приведена в таблиці 2.1.

З таблиці 2.1 витікає, що коефіцієнти заміни коксу для ПВП вищі, ніж для природного газу. Вугілля відрізняється значно більшою теплотворною здатністю і меншим об'ємом горнового газу, що дозволяє за інших рівних умов використовувати його більше, ніж природного газу. Судячи із співвідношення С/Н, у вугіллі міститься водню у декілька разів більше, ніж в коксі, але його у декілька разів менше, ніж в мазуті і природному газі. Це знижує

пружність газу, тобто при збільшенні тиску в печі він стискується у меншій мірі, ніж газ, що містить більше водню.

Таблиця 2.1 - Порівняльна характеристика різних видів палива

Паливо	Кокс	Мазут	Природний газ	Вугілля			
				Антрацит	Жирний	Газовий	Полум'яний
Теплота згорання палива, МДж/кг	35,0	25,3	9,8	31,5	28,5	27,5	22,3
Коефіцієнт заміни коксу, кг/кг ($м^3$)	-	1,20	0,92	0,95	0,88	0,83	0,80
Відношення С/Н, кг/кг	17,0	8,00	3,10	32,30	20,30	17,00	16,00
Об'єм продуктів горіння, $м^3$/кг	1,68	2,87	4,20	1,90	2,01	2,05	1,97

З вищесказаного виходить, що чим вище марка вугілля, тобто вище вміст вуглецю, тим більше виділяється теплоти і вище коефіцієнт заміни коксу вугіллям. За результатами впровадження ПВП на доменних печах компанії «Hoogovens Ijmuiden» (Голландія) автори роботи [15] вивели залежність коефіцієнта заміни від властивостей вугілля:

$$K_З = 2{,}3C_В + 4{,}5H_{2В} + 0{,}97A_В - 1{,}19 \qquad (2.7)$$

де $C_В$, $H_В$, $A_В$ - вміст вуглецю, водню і золи у вугіллі, кг/кг, відповідно.

Видно, що, окрім вуглецю, корисна присутність водню, що міститься в летких вугілля, яке покращує фізичні і хімічні властивості газу. З цієї точки зору слід було б виділити позитивний вплив оксиду вуглецю і негативний вплив інших компонентів летких речовин коксу. Спірним є позитивний вплив золи у вугіллі. По матеріалах досліджень [16], кожен відсоток летких речовин у вугіллі погіршує коефіцієнт заміни коксу на 0,0066; а відсоток золи - на 0,017 кг/кг.

Проте проведений розрахунок коефіцієнтів заміни для донецького вугілля марок АЗ, Т, Г і суміші АЗ і Г, рекомендованих для використання в якості ПУТ для доменних печей [17,18] і приведених в таблиці 2.2, показав, що величини порівнянні з досягнутими на зарубіжних заводах.

Таблиця 2.2 - Склад ПВП з донецького вугілля і коефіцієнти заміни коксу ($К_З$) при вдуванні їх в доменну піч

Марка вугілля	Склад вугілля, %							$К_З$ кг коксу / кг ПВП
	$С_Р$	$Н_Р$	$О_Р$	$N_Р$	$S_Р$	$W_Р$	$А_Р$	
АЗ	86,6	2,25	0,85	1,20	1,00	0,50	7,60	0,98
Т	81,0	3,80	1,00	1,30	1,30	0,50	11,10	0,95
П	70,2	5,20	9,20	2,50	0,30	0,50	12,10	0,78
Суміш 50%АЗ+50%П	78,5	3,80	5,10	1,35	0,65	0,50	9,92	088

Неважко помітити, що коефіцієнт заміни коксу тим вище, чим більше вугілля містить вуглецю, водню і менше кисню, тобто це вугілля марок А, АЗ і П. Проте дослідження показали, що повніше згорання спостерігається для вугілля, що містить підвищену кількість летких речовин: леткі речовини виділяються вже в порожнині фурми, утворюються пори і вуглець легше окислюється.

Вугілля ж з низьким вмістом летких речовин легше розмелюється, за рахунок чого продуктивність млинів можна збільшити на 40% і отримати дрібніші частки, щоб вони встигли згоріти в окислювальній зоні. Для збільшення повноти згорання практикують подачу технічного кисню через трубку, коаксіально розташовану зовні інжекційної, через яку подають ПВП. Така технологія особливо ефективна при високих витратах ПВП.

Для поліпшення спалювання вугілля рекомендується прогрівати ПВП до температури 300 °С перед подачею в піч доменним газом. При цьому діоксид вуглецю адсорбується на поверхні вугілля, утворюючи вуглець -

кисневі комплекси, що легко відділяються при нагріві в порожнині дуттєвої фурми [19].

Для зменшення рудного навантаження і збільшення газопроникності шихти у світовій практиці застосовують подачу подрібнених флюсів і залізорудних матеріалів разом з ПВП [18,19].

В умовах істотного підвищення цін на природний газ з 2009 р. його заміна в доменних печах на пиловугільне паливо в кількості до 200 кг на тонну чавуну дозволить зменшити витрату коксу до 300-350 кг/т чавуну, підвищити продуктивність і понизити витрати на виплавку чавуну на 10-15% незважаючи на збільшення капітальних витрат на будівництво вуглепідготовчого відділення

Вимоги до якості шихти і дуття :

- залізорудна частина повинна складатися із стабілізованих і відсіяних від дрібної фракції (фракції - 5,0 мм) офлюсованих і частково відновних окатишів і агломерату з максимальним відношенням $Fe_{общ}/SiO_2$; щоб на кожні 100 кг ПВП на тонну чавуну вихід шлаку зменшувався на 32 кг, рекомендується використовувати металодобавки до 200 кг/т чавуну;

- кокс повинен мати максимальні значення гарячої міцності - CSR (більше 62%), мінімальні значення реакційної здатності - CRI (менше 28%) і фракційний склад +(40-80) мм;

- вугілля повинне містити до 37% летких і 12% золи і вдуватися в піч в співвідношеннях: до 60% легкозаймисті (марки Г), решта - висококалорійні (марок А, АЗ і П);

- вугільна зола повинна мати температуру плавлення більше 1400 °С;

- співвідношення товщини шарів руди і коксу не повинне перевищувати 0,73;

- дуття слід збагачувати киснем до величин 23-33% з розрахунку 0,5-0,8 $м^3$ кисню/кг вугілля для підтримки теоретичної температури в межах 2000-2300 °С.

Вимоги до технології доменної плавки :

- для поліпшення газопроникності стовпа шихти і коксового «тотермана» рекомендується працювати з розпушеним центром печі, тобто неодружені подачі коксу фракції +45 мм завантажують в центр, а робочі подачі, що складаються з коксу фракції +40 мм, «коксового горішка» і залізорудних матеріалів, - в периферійну і проміжну зони колошника;

- для досягнення максимальної міри окислення вуглецю у фурм слід подавати кисень у факел горіння ПВП, а вугілля нагрівати доменним газом з добавками стимуляторів горіння;

- працювати необхідно на максимально допустимому тиску газу в печі;

- для збереження об'єму зони циркуляції при збагаченні дуття киснем слід збільшити швидкість дуття зменшенням діаметру фурм і збільшенням їх висову в піч;

- розробити технологічні режими для компенсації теплоти в горні печі при короткочасних зупинках і наступних задуваннях доменних печей;

- обладнати доменні печі необхідними системами контролю і управління витратою і розподілом вугільного пилу по фурмам і технологічними параметрами доменної плавки.

2.2. Освоєння технології заміни коксу антрацитом на доменних печах

Протягом 2001-2006 р. технологія завантаження антрациту збагаченого реалізована на доменних печах № 1, 5-8 (таблиця 2.3-2.7) з щорічним збільшенням витрати антрациту на 10-15 кг/т чавуну і доведенні середньорічної витрати до 55-59 кг/т в річному розрізі і коефіцієнтом заміни коксу 0,7 - 1,1 кг/кг (доменні печі № 8 і № 1 зупинені на капремонт з грудня 2003 р. і 2005 р., відповідно).

Без цієї технології в 2000 році вдалося завантажити в печі антрацит всього 4-7 кг/т, а після її впровадження довести витрату антрациту збагаченого в 2005 році до 55 кг/т і в 2006 році і до 60 кг/т чавуну.

Початковий етап освоєння технології із збільшенням витрати антрациту до 30-40 кг/т чавуну (2001-2002 р.) не викликав великих ускладнень в роботі доменних печей. Подальше збільшення витрати до 50-70 кг/т чавуну зажадало ретельнішого вивчення особливостей режиму і підбору параметрів.

У таблицях наводяться результати роботи доменних печей №5-7 об'ємом 2000 $м^3$ кожна в періоди збільшення витрати вугілля вище за 40 кг/т чавун. На ДП № 5 в порі періодів 2003 року (таблиця 2.7) збільшення витрати антрациту з 40 до 58 кг/т привело до зниження фактичної витрати коксу на 10 кг/г, а приведеного на 29 кг/т. Коефіцієнт заміни склав 1,6 кг/кг.

Таблиця 2.3 - Показники роботи ДП № 1 ВАТ «Запоріжсталь»

Показники	Періоди				
	2000	2003	2008	2010	2012
Витрати антрациту, кг/т чав.	0	7	35	40,6	48
Продуктивність, т/добу	1909	1870	1999	1628	1482
Витрати коксу, кг/т чав.	569	519	520	511	515
Інтенсивність горіння (К + А), т/$м^3$ добу	0,632	0,572	0,645	0,522	0,485
Дуття: витрати, $м^3$/хв. тиск, кПа температура, °С	2281 196 927	2321 184 923	2242 212 933	1926 164 934	1770 137 906
Витрати кисню, $м^3$/т чав.	75	78	167	158,4	151,6
Вміст O_2 в дутті, %	23,6	23,8	27,4	27,0	26,7
Колошниковий газ: тиск, кПа температура, °С вміст, % $C0_2$ CO H_2	77 355 16,7 23,3 6,9	63 378 16,3 21,9 6,5	96 337 17,1 24,1 8,1	50 307 16,9 24,2 7,6	28 298 17,0 23,5 6,8
Аналіз чавуну, %: кремній марганець сірка фосфор вуглець	0,91 0,63 0,030 0,058 4,21	0,91 0,66 0,024 0,060 4,27	0,82 0,84 0,027 0,081 4,45	0.85 0,64 0,026 0,097 4,48	0,82 0,61 0,026 0,106 4,5
Основність шлаку	1,20	1,20	1,19	1,19	1,2
Вміст Fe в шихті, %	52,31	52,10	52,62	54,82	54,04

Таблиця 2.4-Показники роботи ДП № 5 об'ємом 2000 $м^3$

Показники	Періоди				
	2000	2003	2008	2010	2012
Витрати антрациту, кг/т чав.	0	29	40	52,3	55
Продуктивність, т/добу	2673	2845	3059	2853	2980
Витрати коксу, кг/т чав.	538	463	440	440	428
Інтенсивність горіння (К + А), т/$м^3$ добу	0,719	0,700	0,734	0,702	0,720
Дуття:					
витрати, $м^3$/хв.	2997	2893	2907	2665	2836
тиск, кПа	198	251	250	205	236
температура, °С	979	1001	1023	1043	1018
Витрати природного газу, $м^3$/т чав.	86	85	86	85	78
Витрати кисню, $м^3$/т чав.	82	93	120	107,8	93,9
Вміст 0_2 в дутті, %	24,2	25,0	26,7	26,2	25,4
Колошниковий газ:					
тиск, кПа	79	124	125	80	115
температура, °С	201	316	305	250	268
вміст, % $С0_2$	16,1	17,0	18,1	18,2	17,9
СО	23,5	21,4	22,8	23,8	22,2
$Н_2$	6,3	7,5	7,4	7,4	7,0
Аналіз чавуну, %:					
кремній	0,90	0,78	0,81	0,84	0,77
марганець	0,49	0,50	0,43	0,42	0,45
сірка	0,024	0,025	0,026	0,024	0,025
фосфор	0,056	0,063	0,068	0,079	0,083
вуглець	4,24	4,52	4,44	4,5	4,55
Основність шлаку	1,21	1,21	1,19	1,19	1,20
Вміст Fe в шихті, %	52,17	52,52	52,70	53,39	54,39

Таблиця 2.5 – Показники роботи доменної печі №6 об'ємом 2000 м^3

Показники	Періоди				
	2000	2003	2008	2010	2012
Тривалість періоду, діб.	71,46	362,2	360,4	359,4	347,7
Витрати антрациту, кг/т чав.	0	15	26	39	47
Продуктивність, т/добу	2357	2860	3027	3109	2798
Витрати коксу, кг/т чав.	523	478	468	458	441
Інтенсивність горіння (К + А), т/м^3 добу	0,620	0,750	0,748	0,772	0,684
Дуття:					
витрати, м^3/хв.	2593	2954	3022	2919	2527
тиск, кПа	192	253	253	247	207
температура, °С	968	1044	1028	1021	1036
Витрати природного газу, м^3/т чав.	93	94	88	90	85
Витрати кисню, м^3/т чав.	82	95	88	120	100
Вміст 0_2 в дутті, %	23,7	25,1	24,9	26,7	25,9
Колошниковий газ:					
тиск, кПа	128	12	129	85	118
температура, °С	339	311	284	257	296
вміст, % $C0_2$	16,9	16,9	17,8	18,0	18,0
CO	22,0	21,9	23,5	23,7	21,9
H_2	6,9	7,1	7,8	7,6	7,1
Аналіз чавуну, %:					
кремній	0,88	0,85	0,78	0,80	0,84
марганець	0,32	0,40	0,47	0,39	0,38
сірка	0,024	0,026	0,025	0,026	0,026
фосфор	0,049	0,054	0,062	0,067	0,076
вуглець	4,19	4,31	4,50	4,46	4,49
Основність шлаку	1,20	1,21	1,21	1,19	1,20
Вміст Fe в шихті, %	52,10	52,55	52,62	52,61	53,37

Таблиця 2.6 – Показники роботи доменної печі №7 об'ємом 2000 м^3

Показники	Періоди				
	2000	2003	2008	2010	2012
Витрати антрациту, кг/т чав.	4	27	34	43	48
Продуктивність, т/добу	2676	2915	2772	3254	2952
Витрати коксу, кг/т чав.	525	468	459	461	446
Інтенсивність горіння (К + А), т/м^3 добу	0,708	0,721	0,683	0,820	0,730
Дуття:					
витрати, м^3/хв.	3203	3128	3053	2986	2798
тиск, кПа	239	245	221	257	215
температура, °С	1024	1028	1027	1012	1042
Витрати природного газу, м^3/т чав.	75	87	85	91	79
Витрати кисню, м^3/т чав.	72	92	80	142	99
Вміст 0_2 в дутті, %	23,6	24,8	24,1	28,0	25,6
Колошниковий газ:					
тиск, кПа	119	119	93	126	92
температура, °С	296	327	322	263	227
вміст, % $C0_2$	15,9	16,6	16,5	18,4	18,4
CO	23,0	22,5	21,7	23,7	23,9
H_2	6,5	7,1	7,1	7,5	7,2
Аналіз чавуну, %:					
кремній	0,85	0,81	0,84	0,82	0,81
марганець	0,18	0,34	0,42	0,28	0,4
сірка	0,027	0,026	0,026	0,028	0,026
фосфор	0,053	0,053	0,062	0,066	0,078
вуглець	4,25	4,29	4,37	4,42	4,48
Основність шлаку	1,22	1,22	1,22	1,18	1,20
Вміст Fe в шихті, %	52,30	52,359	52,89	53,95	53,50

Таблиця 2.7- Показники роботи ДП № 8 ВАТ «Запоріжсталь» об'ємом 2700 $м^3$

Показники	Періоди				
	2000	2003	2008	2010	2012
Тривалість періоду, діб.	360,4	366	354,54	359,23	336,15
Витрати антрациту, кг/т чав.	0	5	17	22	23
Продуктивність, т/добу	3172	3579	3467	3588	3717
Витрати коксу, кг/т чав.	556	536	518	503	484
Інтенсивність горіння (К + А), т/$м^3$ добу	0,653	0,717	0,687	0,698	0,712
Дуття:					
витрати, $м^3$/хв.	3940	3765	3840	3914	3715
тиск, кПа	245	243	254	249	207
температура, °С	998	1012	1034	1018	996
Витрати природного газу, $м^3$/т чав.	65	81	94	89	89
Витрати кисню, $м^3$/т чав.	45	75	92	88	115
Вміст 0_2 в дутті, %	23,0	22,2	24,7	24,6	26,3
Колошниковий газ:					
тиск, кПа	123	124	126	122	78
температура, °С	250	251	322	276	198
вміст, % $С0_2$	23,0	22,2	22,1	21,5	23,0
СО	16,7	17,3	17,1	17,4	18,1
$Н_2$	6,1	6,3	7,1	7,4	7,9
Аналіз чавуну, %:					
кремній	0,92	0,93	0,84	0,81	0,82
марганець	0,12	0,12	0,37	0,35	0,25
сірка	0,027	0,029	0,028	0,025	0,027
фосфор	0,037	0,036	0,052	0,056	0,059
вуглець	4,18	4,21	4,28	4,46	4,43
Основність шлаку	1,22	1,23	1,21	1,20	1,20
Вміст Fe в шихті, %	54,12	52,86	52,22	52,85	53,54

Таблиця 2.8 - Показники роботи ДП № 5 ВАТ «Запоріжсталь» при різній кількості в шихті антрациту

Показники		Періоди	
		базовий	дослідний
Витрати антрациту, кг/т чав.		39,6	57,8
Продуктивність, т/добу		3285,2	3063,3
Приведена продуктивність, т/добу		3285,2	3192,1
Витрати коксу, кг/т чав.		444	434
Приведені витрати коксу, кг/т		444	415,4
Інтенсивність горіння коксу, т/м^{я} добу		0,728	0,664
Дуття:	витрати, м^3/хв.	2369	2755
	тиск, кПа	255	241
	температура, °С	1010	948
Витрати природного газу, м^3/т чав.		83	83
Витрати кисню, м^3/т чав.		130	129
Вміст 0_2 в дутті, %		28,2	28,0
Колошниковий газ:	тиск, кПа	125	119
Аналіз чавуну, %:	кремній	0,79	0,85
	Марганець	0,35	039
	Сірка	0,029	0,019
	Фосфор	0,075	0,075
Вміст Fe в шихті, %		55.33	54,46
Витрати, кг/т чав,:	залізна руда	42	51
	агломерат КМК	467	798
	агломерат НКГОК	1056	840
	окатки ПівГОК	180	62
	вапняк	39	33
	скрап	45	39
Винос пилу, кг/т		10	12
Простої, %		1,12	1,7
Тихий хід, %		0,09	-
Якість сировини (-5 мм), %: агл. КМК		20,5	20,5
	агл. НКГОК-1	13,26	13,30
	агл. НКГОК-2	7,48	7,50
	Окатки	5,56	6,11
Якість коксу, %:			
	Зола	13.0	12,89
	Сірка	131	1,18
	M_{25}	86,72	86,51
	M_{10}	8,38	8,43
	+80	10,24	9,64

На цій же печі в січні 2004 року збільшення витрати антрациту з 47 до 61 кг/т не дало економії коксу при деякому погіршенні його якості.

На ДП № 6 у парі періодів 2003 року збільшення витрати антрациту з 41 до 62 кг/т привело до скорочення фактичної витрати коксу на 19 кг/т, а приведеного на 29 кг/т. Коефіцієнт заміни склав 1,4 кг/кг. При цьому якість коксу дещо покращилась, а інтенсивність плавки і продуктивність печі декілька зменшені. На цій печі в січні 2004 року збільшення витрати вугілля з 48 до 58 кг/т привело до скорочення фактичної витрати коксу на 9 кг/т, а приведеного на 14 кг/т. Коефіцієнт заміни склав 1,4 кг/кг. При цьому якість коксу дещо покращилась, а інтенсивність плавки і продуктивність печі декілька зменшені.

На ДП № 7 в періодах 2003 року збільшення витрати антрациту з 40 до 71 кг/т привело до скорочення фактичної витрати коксу на 21 кг/т, а приведеного на 16 кг/т. Коефіцієнт заміни склав 0,5 кг/кг. При цьому якість коксу трохи змінилася (дещо збільшилася частка фракції +80 мм). На цій печі в січні 2004 року збільшення витрати вугілля з 41,9 до 55 кг/т привело до збільшення фактичної витрати коксу на 4 кг/т при скороченні приведеного на 2,5 кг/т. Коефіцієнт заміни склав 0,2 кг/кг. При цьому якість коксу дещо погіршилась, а інтенсивність плавки і продуктивність печі збільшені.

В середньому для даних періодів ДП № 5-7 коефіцієнт заміни коксу склав (1,6+0,0+1,4+1,4+0,5+0,2) / 6 = 0,85 кг/кг антрациту.

Розгляд періодів роботи при витратах антрациту вище за 40 кг/т чавуну показав, що максимальна заміна коксу досягається при одночасному поліпшенні його якості і деякому скороченні інтенсифікації плавки. Для ефективної заміни коксу антрацитом потрібне, щонайменше, збереження показників якості коксу на досягнутому рівні при помірній інтенсифікації плавки. У всіх випадках погіршення якості коксу і збільшення інтенсивності плавки заміна коксу антрацитом не ефективна.

З аналізу результатів, витікає, що технологія доменної плавки з витратою антрациту в шихті до 70 кг/т чавуну, є освоєною.

При цьому можливості підвищення коефіцієнта заміни коксу вичерпані не повністю і можуть бути реалізовані в ході подальшого вдосконалення режимів плавки.

Разом з цим вивчається можливість збільшення витрати антрациту до 100 кг/т чавуну і ведеться дослідження режимів плавки, що забезпечують ефективну реалізацію такої технології.

На рисунках 2.2 – 2.8 показаний тренд основних параметрів плавки в цьому періоді.

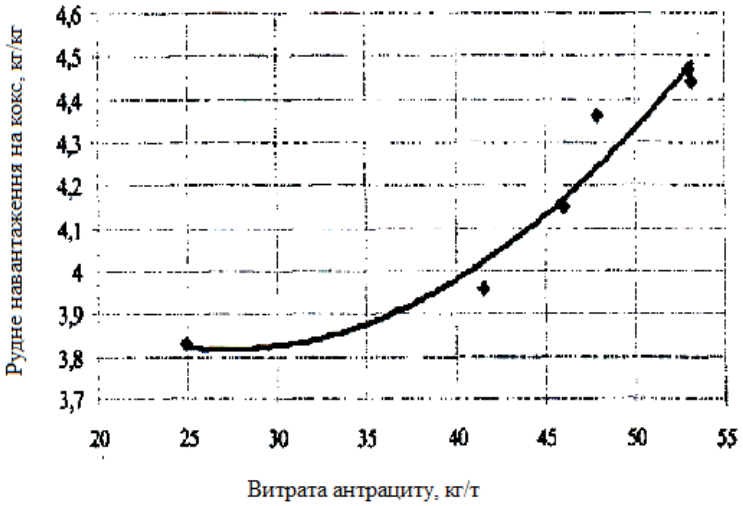


Рисунок 2.2 - Зміна рудного навантаження в ході підвищення витрат антрациту.

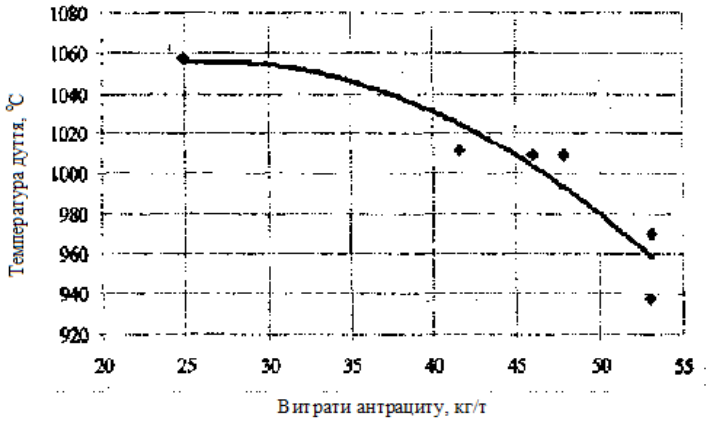


Рисунок 2.3 - Зміна температури дуття в ході підвищення витрат антрациту.

Перевірка принципової можливості заміни коксу при збільшенні витрати антрациту до 100 кг/т чавуну виконана на ДП №7. Протягом 6 діб підряд кількість завантаженого антрациту збільшували від 25 до 55 кг/т залізорудних матеріалів, що відповідає витраті від 45 до 100 кг/т чавуну.

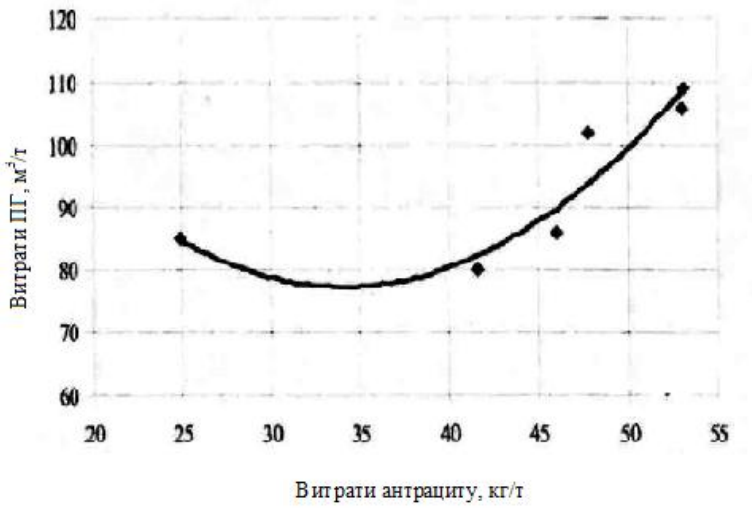


Рисунок 2.4 - Зміна витрат ПГ в ході підвищення витрат антрациту.

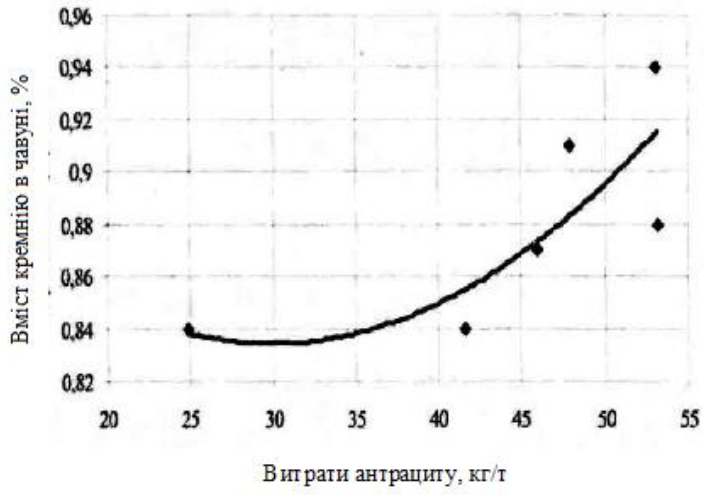


Рисунок 2.5 - Зміна кремнію в чавуні в ході підвищення витрат антрациту.

У міру збільшення витрати антрациту у вказаному діапазоні рудне навантаження збільшували від 3,85 до 4,45 кг/кг (на 15,5 %), що відповідає зниженню витрати коксу щонайменше на 60 кг/т чавуну. При цьому сумарна очікувана зміна витрати коксу від супутнього збільшення витрати природно-

го газу, зменшення температури дуття і підвищення вмісту кремнію в чавуні близько до нуля (взаємно врівноважується), так що можливе скорочення витрати коксу на 60 кг/т чавуну обумовлене заміною його антрацитом (55 кг/т). Таким чином, баланс чинників свідчить про можливість подальшої ефективної заміни коксу антрацитом з коефіцієнтом заміни вище 1 кг/кг.

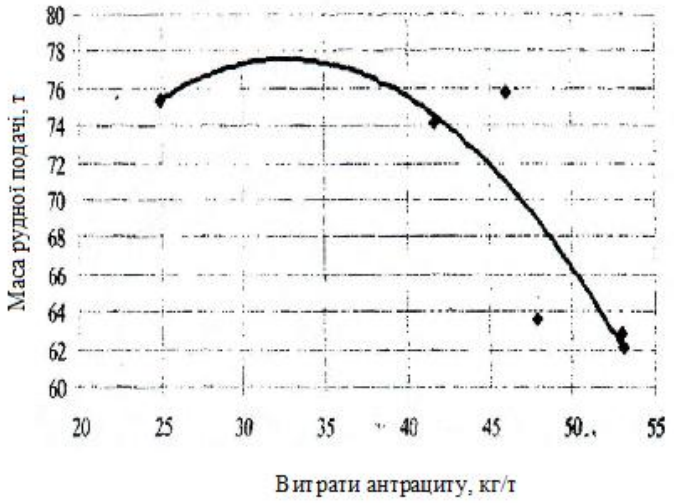


Рисунок 2.6 - Зміна маси рудної подачі в ході підвищення витрат антрациту.

Разом з тим, стабільного режиму плавки при витраті антрациту 100 кг/т чавуну досягти поки не вдалося. Це пов'язано з недостатньою вивченістю перехідних процесів при різкому збільшенні витрати вугілля, а також недотриманням умови своєчасного збільшення при цьому розміру подачі. Комплексне вивчення процесів дозволить виявити нові кількісні закономірності процесів і розробити раціональні параметри технології з постійною заміною коксу антрацитом до 100-150 кг/т чавуну.

2.3. Висновки

1. Вугілля - продукт розкладання рослин, що виростали на Землі 55-300 млн. років назад. Кінцевим продуктом цього розкладання є вуглець, вміст якого у вугіллі коливається від 55 до 97 %. Залежно від ступеня вуглефікації (ступені розкладання) копалини вугілля ділиться на буре - наймолодші, із змістом вуглецю 55-78%, кам'яні (75-92 %) і антрацити (92-97 %). Вугілля, що коксується, при нагріві без доступу повітря утворює досить міцний і щільний брикет - кокс із змістом вуглецю 85-89 %. Вугілля буре і антрацити (А) не коксуються.

2. З відомих замінників коксу (К) в умовах безперервного підвищення ціни на природний газ (ПГ) найперспективнішим є пиловугільне паливо (ПВП), яке вдувається через фурми доменної печі.

3. Для організації вдування ПВП необхідно спорудити капіталомісткий комплекс устаткування для отримання, транспортування і дозування вугілля. Ефективність технології залежить від якості коксу, складу вугілля, їх вартості, роботи комплексу устаткування і вибору технологічного режиму.

4. Для підвищення ефективності плавки необхідно використовувати збагачений антрацит з витратою 70-80 кг/т чавуну.

5. Найбільш ефективним параметром оцінки теплового стану доменної печі є теоретична температура горіння. При заміні 100 $м^3$ природного газу / тонну чавуну на 100 кг ПВП / тонну чавуну теоретична температура горіння підвищується на 100 ^oC.

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1. Аналіз потенційних шкідливих чинників виробничого середовища доменного цеху

Основні джерела виділень шкідливих речовин в доменному цеху - ливарний двір і бункерна естакада.

Основну шкідливість представляє оксид вуглецю - безбарвний газ, що не має запаху і що не надає дратівливих дій на організм людини, він може викликати отруєння без будь-яких попередніх відчуттів. Потрапляючи в організм людини через легені, він порушує нормальні процеси газового обміну і окислення в організмі, що приводить до тяжких наслідків. Об'ємна частка оксиду вуглецю складає 29 %. Шкідливим чинником є також наявність високих концентрацій пилу в повітрі робочої зони при випуску чавуну і шлаку. У зоні чавуновізного ковшу, що заповнюється чавуном, утворюється хмара пилу, що складається в основному з графіту дрібних фракцій, концентрація пилу в цій зоні при випуску дуже значна. Концентрація пилу в повітрі підбункерних приміщень досягає 500 мг/м^3. У підбункерних приміщеннях, обладнаних конвеєрами, аспіраційною системою відсмоктується близько 2,5 кг пилу на кожну тонну чавуну. Після очищення в атмосферу викидається в середньому близько 90 кг пилу на 1 т чавуну. Постійна робота в запилених приміщеннях може привести до професійних захворювань, званими пнемоконіозами.

Пил, незалежно від її складу, покриваючи шкіру, може закупорювати виходи сальних і потових залоз, що викликає захворювання шкіри. Пил в доменному виробництві нетоксичний, із вмістом оксиду кремнію до 10 %. Гранично допустима концентрація пилу в робочій зоні складає 4 мг/м^3.

Під впливом шуму наступає безсоння, знижується працездатність, може виникнути професійне захворювання - туговухість. Допустимий рівень шуму складає 80 дБА. Вібрація впливає на нервову систему, на кровоносні судини. При тривалому контакті може виникнути вібраційна хвороба. Норма вібрації складає 92 дБ при допустимій коливальній швидкості 2 мм/с.

Санітарно - гігієнічна характеристика робочого місця горнового представлена в (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Карта умов праці на робочому місці горнового доменної печі

№ з/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас - шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії чинника за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки II клас небезпеки III-IV клас небезпеки азоту діоксид ангідрид сірчистий вуглець оксид	 0,05 2,0 10,0 20,0	 0,36 0,85 39,0 13,6			7,2	 90 90
2	Пил фіброгенної дії, г/м^3	4	24,0		6		80
3	Шум, дБА	80	86	6			80
4	Вібрація (загальна), дБ	92	96		4		90
5	Мікроклімат в приміщенні: - Температура, ^{o}C - Швидкість руху повітря, м/с - Відносна вологість повітря, % - Інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	 26 0,2...0,6 40-60 140	 37 0,4 37 280	 3 	 140	 1,1 	 90 90 90 90
6	Тяжкість і напруженість праці	Категорія робіт - важка, III напружена					

3.2. Заходи щодо усунення небезпечних і шкідливих чинників

Заходи щодо усунення запиленості:

- організація локальної витяжної вентиляції від льоток випуску чавуну і шлаку безпосередньо разом утворення пилових виділень, в місцях вивантаження, завантаження сирих матеріалів;

- матеріали, що порошать, повинні переміщатися пневмотранспортом, гідротранспортом і іншими раціональними способами. Пил після збору повинен поступати в апарати, які очищають пил: циклони, рукавні фільтри;

Заходи для зниження шкідливої дії тепловиділень:

- необхідно встановити стаціонарні або переносні вентиляційні установки для організації повітряного душу на робочих місцях;

- для ізоляції жолобів, ванн з чавуном і шлаком застосувати тепло ізолюючі екрани;

Заходи щодо зниження шуму і вібрації:

- зниження шуму може бути досягнуте пристроєм глушників в димар, пристроєм вихлопних клапанів з вбудованим приводом в між конусному просторі печі.

3.3. Технічні рішення по виробничій санітарії

У доменному цеху опалювання необхідне не тільки для створення необхідної температури в приміщенні, але і для збереження будівлі від руйнування. У цеху передбачається центральна водяна система опалювання з місцевими нагрівальними приладами, регістрами з гладких труб в приміщеннях ливарного двору, електроприміщеннях. Вентиляційні системи повинні

забезпечувати кратність вентиляційного обміну, а також метеорологічні умови.

Значне коливання параметрів мікроклімату приводить до порушення терморегуляції організму. По характеру робіт доменне виробництво відноситься до категорії важких робіт (оскільки витрати енергії більше 290,75Вт, систематична фізична напруга, постійне пересування і перенесення тяжкості понад 10 кг). Технологічні операції виконуються в несприятливих кліматичних умовах.

Оптимальні і допустимі параметри мікроклімату в робочій зоні пічної ділянки доменного цеху представлені в табл. 3.2 і 3.3 [2].

Таблиця 3.2 - Оптимальні норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні

Період року	Категорія тяжкості робіт	Температура, °С	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний і перехідний	Важка - III	16-18	40-60	0,3
Теплий	Важка - III	18-21	40-60	0,5

Таблиця 3.3 - Допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні в теплий період року

Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, не більше, %	Швидкість руху повітря, не більше, м/с
Важка - III	13-19	75	0,5

Для створення нормального мікроклімату на робочому місці горнового доменній печі необхідно застосувати повітряний душ або повітряну завісу, що є різновидом місцевої припливної вентиляції. Повітряний душ не зменшує кількість променистого тепла, що сприймається поверхнею одягу і

тіла робочого, але збільшує тепловіддачу за рахунок подачі повітря в навколишнє середовище. Вельми перспективним для створення нормального мікроклімату на робочих місцях є застосування кільцевих повітряних завіс, що дозволяють ізолювати робоче місце від дій шкідливих чинників.

3.4. Електробезпека

Доменний цех є крупним споживачем електроенергії і має розвинене електрогосподарство, і складне електроустаткування. Електропостачання доменного цеху виконане відповідно до вимог ПБЄЄУ споживачів по першій категорії.

До першої категорії відносять приміщення з підвищеною небезпекою, що характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють таку небезпеку: вогкості або електропровідному пилу; струмопровідної підлоги, стін, стель; температури вище 30 ^{0}С; відносній вологості вище 70 %.

До другої категорії відносять особливо небезпечні приміщення, що характеризуються наявністю однієї з умов, що створюють особливу небезпеку: відносна вологість 100 %; хімічно активне середовище або наявність двох і більше за умови підвищеної небезпеки. Прикладом таких приміщень доменного цеху служать приміщення доменного цеху, тунелі, підвали, колодязі.

До третьої категорії відносять приміщення без підвищеної небезпеки, що характеризуються відсутністю умов, що створюють підвищену і особливу небезпеку. До них відносяться конторські, конструкторські і інші приміщення. Живильна і розподільна мережа усередині об’єктів доменної печі виконана чотирижильними кабелями з алюмінієвими жилами. Траси кабельних ліній вибрані з урахуванням найменшої витрати кабелів, зручності монтажу,

експлуатації і забезпечення їх збереження від механічних і температурних пошкоджень.

Прокладка кабелю виконана в спеціально споруджених кабельних галереях і трубних блоків; між електроприміщеннями кабелі прокладені в сталевому футерованому коробі.

Поразка людини електричним струмом може наступити при двофазному і однофазному дотику до струмовідних частин, а також при дотику до струмовідних частин, а також при дотику до заземлених не струмовідних частин, що опинилися під напругою, і при включенні на напругу кроку. Двофазний дотик є найбільш небезпечним, оскільки людина виявляється під повним робочою або між фазною (лінійною) напругою. Найбільше розповсюдження має однополюсний дотик до струмовідних частин, де значення струму, що проходить через людину, в трифазній мережі залежать, перш за все, від режиму нейтралі джерела живлення. Нейтраль джерела живлення може бути ізольована і глухозаземленна. Захист від поразки електричним струмом і спалахів можна здійснити захисним відключенням, або захисним заземленням.

У мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1000 В заземлення неефективно, оскільки навіть при глухому замиканні на землю струм залежить від опору заземлення і з зменшенням останнього струм зростає. Тому для забезпечення безпеки дотику людини до корпусу електроустановки в аварійний період пропонується організувати занулення цієї установки.

Занулення - навмисне електричне з’єднання з нульовим захисним провідником металевих не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою. Занулення перетворює замикання на корпус в однофазне коротке замикання, внаслідок чого спрацьовує максимальний струмовий захист і селективно відключає пошкоджену ділянку мережі. Крім того, занулення знижує потенціали корпусів, що з’являються у момент замикання на землю (на якийсь час, поки не спрацьовує відключаючий апарат - запобіжник).

Очевидно, що занулення здійснює дві захисні дії - швидке автоматичне відключення пошкодженої установки від живлячої мережі і зниження напруги занулених металевих не струмопровідних частин, що опинилися під напругою. Повторні заземлення нульового дроту повинні виконуватися на кінцях відгалужень повітряних ліній завдовжки більше 200 м і в середині ліній відгалуження довжиною 500 м.

3.5. Пожежна безпека доменного виробництва

У доменному цеху присутні такі горючі речовини, як природний і доменний гази, мазут, кокс, вугільний пил, ізоляція кабельного господарства, металізовані окатиші. Джерелами запалення можуть бути: променисте тепло, розплавлений чавун і шлак, і їх краплі, електричні іскри, дуги при коротких замиканнях в електричних ланцюгах, тепло і іскри від горіння і удару. Найбільш вірогідні пожежонебезпечні ділянки є місця загоряння газу - погано провітрювані приміщення, де знаходиться апаратура під тиском; газові тракти з горючим газом, при попаданні в яких повітря (зважаючи на зниження тиску або припинення подачі газу) утворюється вибухонебезпечна суміш.

Метан - основний компонент природного газу. Температура займання його в повітрі 645 - 800 ^{0}C, температура займання в кисні на 50 - 100 ^{0}C. Токсична дія його виявляється лише при такій концентрації, коли помітно зменшується вміст кисню в атмосфері. Присутність в природному газі баластних газів (азоту, вуглекислоти і ін.) підвищує температуру його займання.

Підходи і проїзди до пожежних агрегатів, кранів, а також первинним пристосуванням для гасіння пожежі не повинні захаращуватися. Простір біля печей і пультів управління повинен бути вільним від сторонніх предметів, легкозаймистих і екзотермічних матеріалів. Велике значення має надійне

охолоджування кладки печі, що перешкоджає і прогару і виходу розплавленого металу з печі; необхідний контроль за охолоджуванням печі. При випуску чавуну і шлаку забороняється використовувати ковші, виливниці з водою або вологими матеріалами. Місця розливання повинні бути звільнені від горючих матеріалів, не передбачених технологічним регламентом.

Насосні станції доменних печей слід обладнати резервними насосами з електроприводами і резервними трубопроводами до печей. Забороняється проводити ремонт системи охолоджування на оглядових майданчиках над чавунними і шлаковими льотками під час випуску продуктів плавки.

Захист від променистого тепла - одна з засобів пожежної безпеки при розливанні і транспортуванні рідкого чавуну. Пульти управління розливних машин і ін. пульти управління, розташовані в безпосередній близькості від місця розплавленого чавуну і шлаку, виконують з негорючого матеріалу, захищеного металевою сіткою, засклені теплопоглинальним склом.

Всі кабельні і електричні приміщення обладналися пожежною сигналізацією.

Для виключення загоряння в транспортних галереях неприпустимо застосування відкритого вогню. На місці проведення вогняних робіт при ремонті необхідно підготувати первинні засоби пожежогасіння. Щоб уникнути загоряння транспортних стрічок забороняється приймати неохолоджений агломерат і кокс з температурою вище 100°С.

Щоб уникнути пожежі на газових комунікаціях забороняється користуватися факелом для відігрівання газопроводу і арматури, а також для визначення місця витоку газу; застосовувати дерев’яні пробки для закриття штуцерів на газопроводах; складувати поблизу газопроводу горючі матеріали; підпалювати газ, що випускається при продуванні газопроводу.

Евакуація людей з будівлі доменного цеху у разі виникнення пожежі забезпечується через евакуаційні виходи, які повинні вести:

- з приміщення першого поверху безпосередньо назовні;

- з приміщень будь-якого поверху (окрім першого) в коридор, ведучий на сходову клітку;

Кількість евакуаційних виходів повинна бути не менше двох.

Електрична пожежна сигналізація служить для швидкого оповіщення служби пожежної охорони про виниклу пожежу в якому-небудь приміщенні доменного цеху. При необхідності пожежна сигналізація може бути суміщена з охоронною сигналізацією.

3.6. Розрахунок установки водяного пожежогасіння

Система автоматичної пожежної сигналізації складається з оповіщувача датчиків, що встановлюються в приміщеннях. Теплові оповіщувачі диференціальної дії типу ДПС-03 працюють на принципі різного наростання термоелектрорушійної сили в закреслених і посріблених спаях термопар.

Комбіновані теплові і димові оповіщувачі типу К1-1 мають чутливий елемент у вигляді іонізаційної камери (для реагування на дим) і терморезистори (для реагування на теплоту). При попаданні диму в іонізаційну камеру зменшується значення іонізаційного струму унаслідок поглинання димом - випромінювання радіоактивного ізотопу, що приводить до розбалансування електричної схеми і подачі відповідного електричного сигналу. Температура спрацьовування цих оповіщувачів 50 - 80 ^{0}С. Розрахункова площа обслуговування 100 м .

Площа приміщення S= 100 м^2; висота h= 6 м.

Інтенсивність зрошення водою g = 0,9 л/м^2; час роботи t= 15 хв.

Гасіння здійснюється спринклерними зрошувачами. Для таких зрошувачів $К_{min}$= 5 м; $К_{max}$ = 100 м.; n - вільний натиск перед зрошувачем.

Максимальна відстань між зрошувачами L_{max}= 2 м.

Приймаємо величину натиску перед зрошувачами Н = 10 м.

Визначимо натиск баку $H_б$:

$$H_б = S \cdot g \cdot t \,, \tag{3.1}$$

$$H_б = 100 \cdot 0{,}9 \cdot 900 = 81000 \text{ л або } 81 \text{ м}^3.$$

Визначаємо витрати води $Q_в$ через один зрошувач:

$$Q_в = К \cdot \sqrt{H_л} \,, \text{ л/сек}, \tag{3.2}$$

де К - коефіцієнт продуктивності зрошувача, при діаметрі вихідного отвору 15 мм К = 0,71 = 0,71.

$$Q_в = 0{,}71 \cdot \sqrt{10} = 2{,}74 \text{ л/сек}.$$

Витрати води за годину через один зрошувач складає:

$$Q_в = 2{,}74 \cdot 3600 = 9864 \text{ л/год або } 9{,}86 \text{ м}^3\text{/год}.$$

Визначити кількість зрошувачів n:

$$n = Q_б / Q_{вч} = 81{,}0 / 9{,}86 \sim 10 \text{ шт}.$$

Розподіляємо зрошувачі по площі цеху під стелею.

Витрати натиску:

$$H_1 = Q^2 / В, \tag{3.3}$$

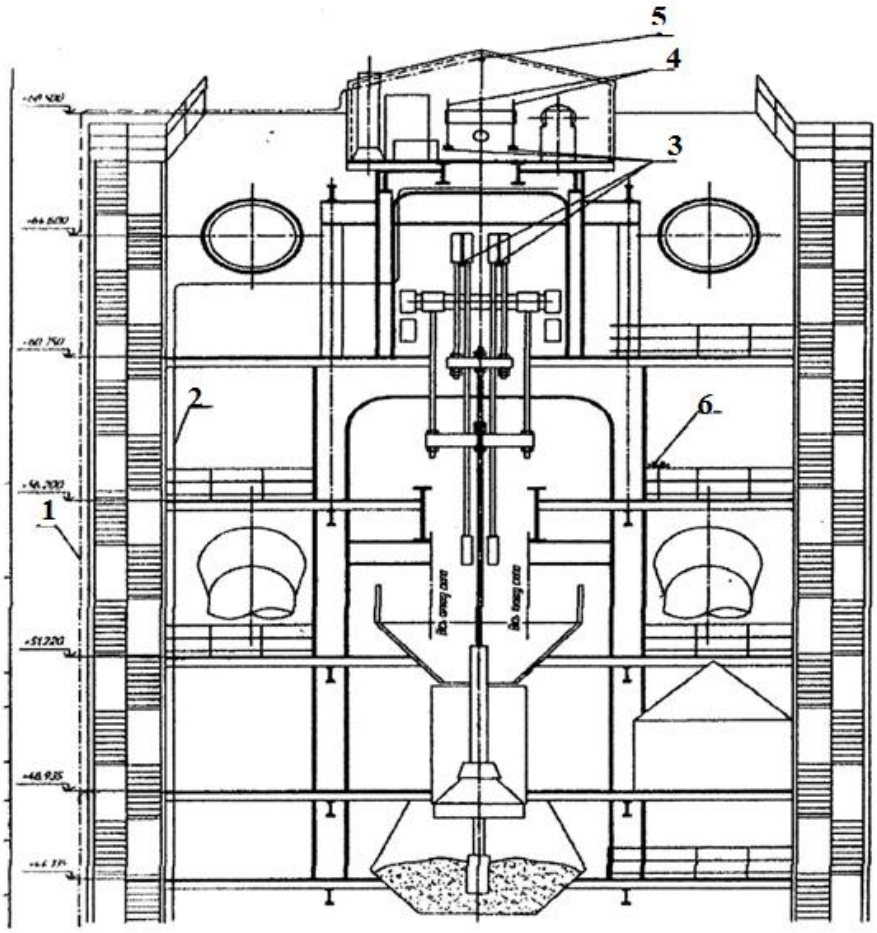
де Q - витрати води на розрахунковій ділянці трубопроводу, л/сек;

В - характеристика трубопроводу, визначається за формулою:

$$В = К_1 / l, \tag{3.4}$$

де $К_1$ - коефіцієнт, що приймається з таблиці 9 [7]

l — довжина ділянки трубопроводу, м.



1-паропровід; 2-водопровід; 3-термосигналізатори; 4-шланг гнучкий; 5-паровий колектор; 6-пожежний кран.

Рисунок 3.1 - Устаткування водяного пожежогасіння між конусного простору доменної печі.

Для наших умов $Q = Q_б / 3600 = 81000 / 3600 = 22,5$ л/сек.

Для транспортування води приймаємо стальну електрозварну трубу з діаметром проходу 125 мм і товщиною стінки 3,2мм.

Для такої труби коефіцієнт $К_1 \sim 13530$.

Приймаємо довжину трубопроводу l = 50 м.

$$В = 13530/50 = 273,$$

$$H_{1 =} (22,5)^2/273 = 1,85м,$$

$$H = H + H_1 = 10 + 1,85 = 12 м.$$

Необхідний натиск води на пожежогасіння - 12 м.

Висновок: необхідно встановити 10 зрошувачів під стелею.

3.7. Висновки

1. Основні джерела виділень шкідливих речовин в доменному цеху - ливарний двір і бункерна естакада.

2. Заходи щодо усунення запиленості:

- організація локальної витяжної вентиляції від льоток випуску чавуну і шлаку безпосередньо разом утворення пилових виділень, в місцях вивантаження, завантаження сирих матеріалів;

- матеріали, що порошать, повинні переміщатися пневмотранспортом, гідротранспортом і іншими раціональними способами. Пил після збору повинен поступати в апарати, які очищають пил: циклони, рукавні фільтри.

3. Приведено розрахунок установки водяного пожежогасіння. Необхідно встановити 10 зрошувачів під стелею.

ВИСНОВКИ

1. Представлений аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду застосування пиловугільного палива з метою заміщення дорогих енергоносіїв у виробництві чавуну і зменшення його вартості

2. Вугілля - продукт розкладання рослин, що виростали на Землі 55-300 млн. років назад. Кінцевим продуктом цього розкладання є вуглець, вміст якого у вугіллі коливається від 55 до 97 %. Залежно від ступеня вуглефікації (ступені розкладання) копалини вугілля ділиться на буре - наймолодші, із змістом вуглецю 55-78%, кам'яні (75-92 %) і антрацити (92-97 %). Вугілля, що коксується, при нагріві без доступу повітря утворює досить міцний і щільний брикет - кокс із змістом вуглецю 85-89 %. Вугілля буре і антрацити (А) не коксуються.

3. Для доменної плавки необхідний кусковий продукт, що містить максимальну кількість вуглецю і володіє достатньою міцністю в холодному і гарячому станах.

4. З відомих замінників коксу в умовах безперервного підвищення ціни на природний газ найперспективнішим є пиловугільне паливо (ПВП), яке вдувається через фурми доменної печі.

5. Для організації вдування ПВП необхідно спорудити капіталомісткий комплекс устаткування для отримання, транспортування і дозування вугілля. Ефективність технології залежить від якості коксу, складу вугілля, їх вартості, роботи комплексу устаткування і вибору технологічного режиму.

6. В умовах різкого подорожчання природного газу особливого значення набуває технологія заміщення коксу антрацитом, що подається в піч через завантажувальний пристрій по тих же трактах, що і вся шихта. Розроблена технологія завантаження в доменні печі великого об'єму сирого кускового антрациту в кількості 70-80 кг/т чавуну. Капітальні витрати на реалізацію технології практично відсутні, а ефективність визначається співвідношенням

властивостей вугілля і їх ціни, що дозволяє отримувати економію від 2,1 до 17,5 S/т виплавленого чавуну.

7. Значне зниження окислювального потенціалу фурмених зон, посилене зниженням показника прямого відновлення закису заліза, також визначуваним вдуванням пиловугільного палива, сприяють зменшенню приходу в нижню високотемпературну зону горна інтенсивного охолоджувача - оксиду заліза, що можуть сприяти поліпшенню нагріву продуктів плавки, відновленню кремнію і марганцю, десульфурації чавуну.

8. Найбільш ефективним параметром оцінки теплового стану доменної печі є теоретична температура горіння. При заміні 100 м^3 природного газу / тонну чавуну на 100 кг ПВП / тонну чавуну теоретична температура горіння підвищується на 100 ^{o}C.

9. Проаналізовані основні шкідливі і небезпечні чинники доменного виробництва і запропоновані заходи щодо їх усунення та встановлено, що:

- організація локальної витяжної вентиляції від льоток випуску чавуну і шлаку в місцях вивантаження, завантаження сирих матеріалів;

- матеріали, що порошать, повинні переміщатися пневмотранспортом, гідротранспортом і іншими раціональними способами. Пил після збору повинен поступати в апарати, які очищають пил: циклони, рукавні фільтри.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Баглюк Г. А., Куровський В. Я. Структура, механічні та триботехнічні властивості металоскляних композитів на основі модифікованих залізовуглецевих сплавів. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №11/12. С. 58-67.

2. Роїк Т. А., Гавриш Ю. Ю. Нові композиційні матеріали на основі міді для важко навантажених вузлів тертя. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №09/10. С. 40-48.

3. Косторнов А. Г. Триботехнічні характеристики композиційного матеріалу на основі заліза при температурі 500 °С. *Порошкова металургія.* Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2014. №07/08. С. 43-50.

4. Савчук П. П. Особливості зношування модифікованих епоксидних композитів при навантаженні тертям. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М.Францевича НАН України, 2014. №03/04. С. 103-109.

5. Вішневська-Вейнерт Х. Тертя і знос пористих підшипників ковзання при високій температурі. вплив твердого мастила з наночасток MoS_2. Порошкова металургія. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2013. № 07/08. С. 77-84.

6. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / О.С. Комаров, В.М. Ковалевський, А.С. Чаус та ін; під загальною редакцією О.С. Комарова. Мн.: Нове знання, 2005. 560 с.

7. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 336 с.

8. Степанчук А. М., Білик І. І. Матеріали для напилювання покриттів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 236 с.

9. Куцова В. З., Котова Т. В. Наноматеріали та нанотехнології: навч. посібник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2013. Частина 1. 103 с.

10. Писаренко В. Г. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку: навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2019. 242 с.

11. Композитні матеріали: навч. посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук [и др.]. Луцьк : Видавець ФОП Теліцин О.В., 2017. 368 с.

12. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук: підручник. Київ : НТУУ «КПИ», 2006. 353 с.

13. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: Увед.1999-12-01. 9 с.

14. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10 : уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010. 28 с.: «Укрархбудінформ». УКНД 91.040.99

15. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. К. : УкрНДІПБ. 2002. 44 с.

16. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. 65 с.

17. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. 143 с.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні



МАТЕРІАЛИ

УКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА УЧАСТЮ

МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУСПІЛЬСТВА У СФЕРАХ

ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ,

ТОЗБЕРЕЖЕННЯ, МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

Запоріжжя

2024

...ків показали низькі теоретичні знання в галузі охорони праці, після ...ження курсу навчання 50% керівників стали самі брати участь у ...ці робочих завдань в галузі охорони праці, а 44% запрошувати на ...ому собі для виконання даних завдань фахівців в галузі охорони праці.
Найвищий ступінь успішності спостерігається по:
- соціальному модулю навчання (пояснимо: з одного боку, слабким ...ом керівників безконфліктно будувати міжособистісні відносини в ...ій управлінській діяльності, з іншого психологічними тренінгами у сфері ...обистісного спілкування в процесі навчання);
- управлінському, технологічному модулям (пояснюється включенням в ...авчання високих управлінських, виробничих технологій).

...89.168

Евтушенко Олександр Вадимович
магістрант 2 курсу
Куріс Юрій Володимирович
д.т.н., професор кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
ІННІ ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛІКОМАРГАНЦЮ З АЛЮМІНІЄМ МЕТОДОМ ЗМІШУВАННЯ

Актуальність теми обумовлюється:
Економічна криза, що вибухнула в 2018 році в Україні відчутно ...лася на феросплавній галузі. Як підсумок, в 2019 році обсяги ...ництва в галузі скоротилися на 27,5%, завантаження потужностей впало ...50%, а відпускні ціни на готову продукцію довелося понизити ...но на третину. До кінця 2020 р. Нікопольський завод феросплавів ...ив міру завантаження своїх потужностей до 90%, на Запорізькому ...феросплавів випуск продукції, в порівнянні з 2019 р., виріс на 33.5% [1].

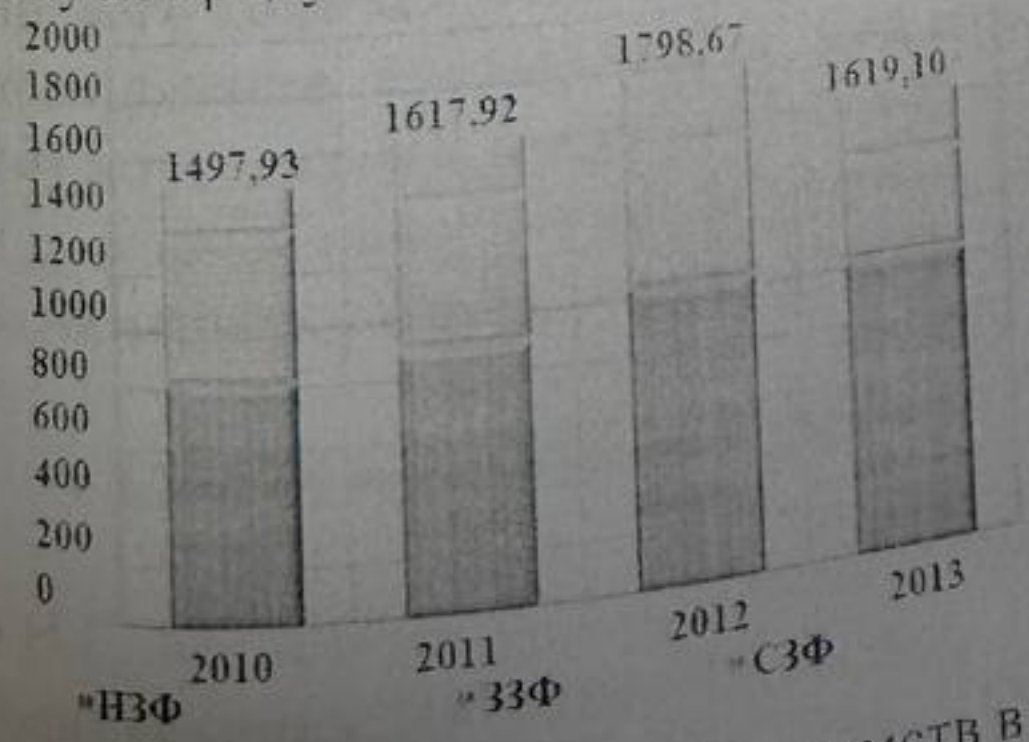


Рисунок 1 - Динаміка феросплавних підприємств в загальному об'ємі виробництва в Україні, тисяч тонн.

в 2021 р. в порівнянні з аналогічним періодом 2020 р. випуск сплавів в Україні зменшився на 13,7%, до 832,3 тис. тонн (рисунок 2) [2].

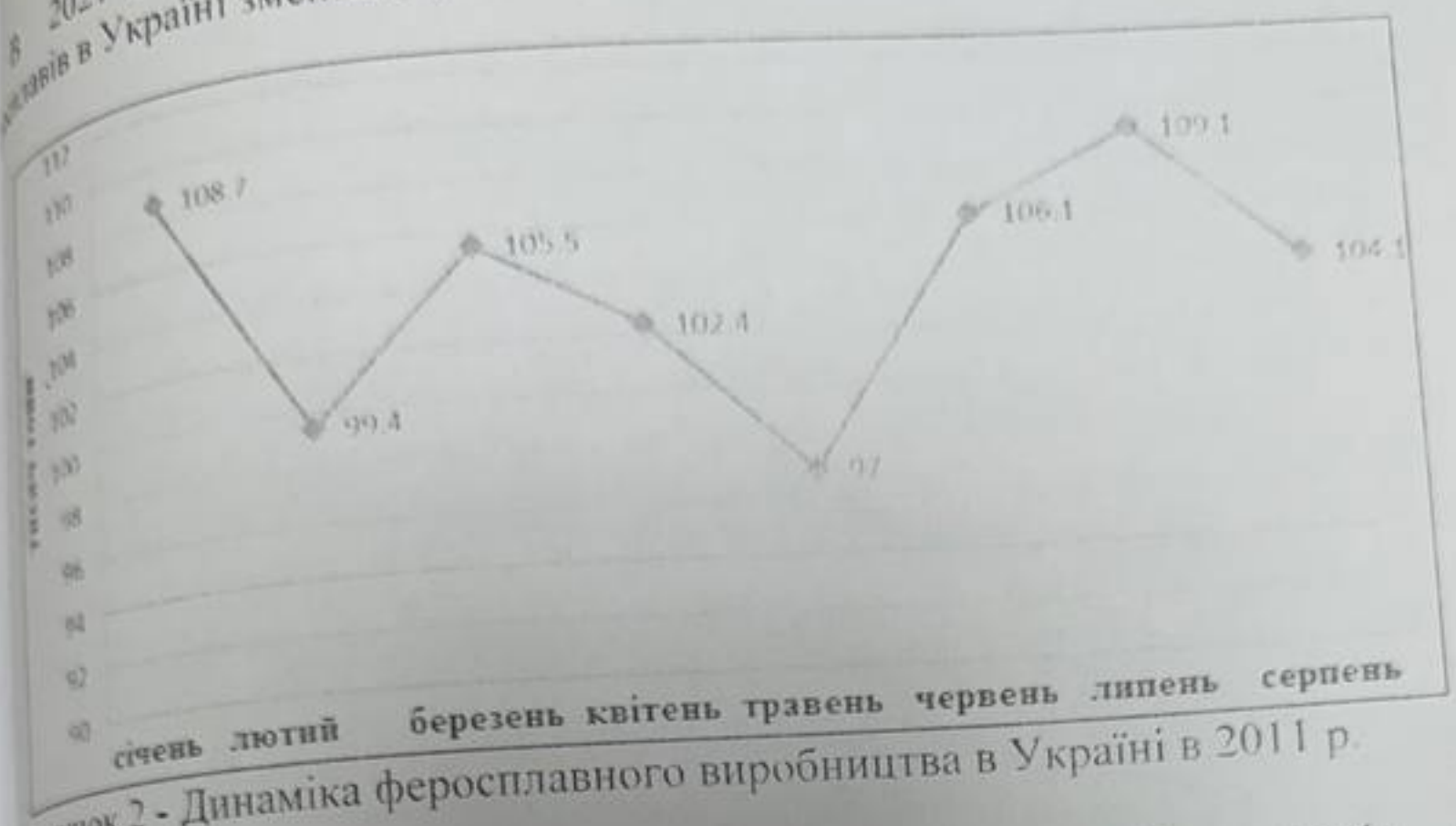


Рисунок 2 - Динаміка феросплавного виробництва в Україні в 2011 р.

Також в 2011 р. стався черговий виток росту імпорту феросплавів в (рисунок 2). Щомісячно в Україну імпортується більше 25 тис. тонн сплавів [2].

Найважливішим резервом підвищення продуктивності та розвитку виробництва феросплавів є економія сировини, палива і енергії, застосування ресурсозберігаючих маловідходних технологій.

Мета дипломної роботи: розробка технології виробництва силікомарганцю з алюмінієм методом змішування.

Для вирішення поставленої мети дипломної роботи треба вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз сучасних способів виробництва феросилікомарганцю, виявити напрями вдосконалення технології його виплавки шляхом використання алюмінієвого комплексного відновника.

2. Провести дослідження теплофізичних властивостей вихідної шихти марганцевого концентрату, коксику, алюмінієвого комплексного відновника.

3. Провести порівняння технологічних показників виплавки силікомарганцю на звичайній та дослідній шихті.

Список використаних джерел

1. Садовский Н.Г. Металлургия и коксохимия [Текст] / Н.Г. Садовский, Н.Г. Стригачев. - Киев: Техника, 2008. вып. 56. С. 401

2. Кучер А.Г. Восстановительные процессы в производстве ферросплавов / А.Г. Кучер, М.И. Гасик, Г.Д. Ткач - К.: Наука, 2003.