

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Сергій СЕМІРЯГІН



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Металургія сталі»
за спеціальністю 136 Металургія
**на тему «Вплив зміни теплових втрат конвертера впродовж його
кампанії на техніко-економічні показники конвертерної плавки»**

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

Наставник від бази
практики

Віталій КРАВЧЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Сергій ВОЛОХ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Металургія сталі</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Сергій СЕМІРЯГІН

25 грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Волоху Сергію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Вплив зміни теплових втрат конвертера впродовж його кампанії на техніко-економічні показники конвертерної плавки»
керівник роботи Стоянов Олександр Миколайович, доцент, канд. техн. наук.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №238/14.10.2024 від 14.10.2024 р
2. Термін подання роботи: 15 лютого 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики сталеплавильного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «Камет-сталь» м. Кам'янське.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження теплової роботи конвертера, експлуатація футерівки конверторів. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи конвертора на різних етапах експлуатації футерівки агрегату. Визначення взаємозв'язків впливу ступеню зношення вогнетривів конвертера на основні технологічні показники конвертування металу. Розробка пропозицій по покращенню теплової роботи конвертера. Розділ 3. Охорона праці в конвертерному відділенні. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 7 слайдів основної частини, 1 слайд економічна частина.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Стоянов О.М., доцент
Розділ 2	Стоянов О.М., доцент
Розділ 3	Стоянов О.М., доцент
Розділ 4	Латишева О.В, доцент

7. Дата видачі завдання 25.12.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2024-03.01.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	03.01.2025-23.01.2025
3	Розділ 3. Охорона праці	23.01.2025-26.01.2025
4	Розділ 4. Економічний розділ	26.01.2025-30.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	30.01.2025-03.02.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-05.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	05.02.2025-15.02.2025
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	15.02.2025-20.02.2025

Здобувач

Сергій ВОЛОХ

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

АНОТАЦІЯ

Волох С.В. Вплив зміни теплових втрат конвертера впродовж його кампанії на техніко-економічні показники конвертерної плавки. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія сталі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є технологія виробництва сталі в кисневому конвертері.

Предметом дослідження є теплова робота кисневого конвертеру.

У першому розділі проаналізовано умови роботи кисневих конвертерів ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Приведено аналіз теплової роботи конвертеру та особливості експлуатації футеровки в ході його кампанії.

У другому розділі проведено статистичний аналіз даних роботи конвертора на різних етапах експлуатації футерівки агрегату. Визначено взаємозв'язків впливу ступеню зношення вогнетривів конвертера на основні технологічні показники конвертування металу. Запропоновано пропозицій по покращенню теплової роботи конвертера.

У третьому розділі розглянута охорона праці в конвертерному відділенні.

В четвертому розділі проведено розрахунок економічної ефективності від застосування запропонованих пропозицій по покращенню теплової роботи конвертера.

КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР, ФУТЕРІВКА, ВТРАТИ ТЕПЛА, ЗНОС,
ВИХІД ПРИДАТНОГО

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Технологія виплавки сталі в кисневому конвертері на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».....	6
1.2 Особливості експлуатації футеровки кисневого конвертера	9
1.3 Аналіз теплової роботи кисневого конвертера	17
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	21
2.1. Методика досліджень	25
2.2. Визначення впливу стану футеровки конвертера на основні технологічні параметри плавки.....	27
2.3 Аналіз впливу різних періодів компанії футеровки на теплову роботу конвертера та основні технологічні параметри плавки.	37
2.4 Розрахунок втрат теплоти в різні періоди компанії футеровки. .	42
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ...	50
3.1 Аналіз умов праці в конвертерному цеху	50
3.2 Заходи поліпшення умов праці.....	55
3.3 Захист навколишнього середовища	58
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	62
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Металургія України – базова галузь народного господарства країни, вона забезпечує більше 25 % промислового виробництва держави, дає близько 40 % валютних надходжень в Україну і більше 10 % надходжень до Державного бюджету України. Металургійні підприємства України за підсумками 2023 року збільшили виробництво: Виплавка сталі за рік становила 6,23 млн т, а чавуну – 6 млн т, прокату – 5,37 млн т, про це свідчать дані World steel [1].

За даними World Steel, до десятки найбільших країн-виробників сталі в серпні 2024 року увійшли [1]:

Китай – 77,9 млн тон (-10,4% р/р);

Індія – 12,3 млн т (+2,6%);

Японія – 6,9 млн тон (-3,9%).

Технологічне устаткування в конвертерному цеху функціонує в екстремальних режимах (висока температура і тиск, велика швидкість руху робочого тіла), з одного боку, і малих запасах стійкості (робота поблизу критичних меж з можливістю виникнення викидів металу і шлаку) – з іншого. Висока продуктивність конвертерів повинна узгоджуватися із роботою всіх відділень цеху (міксерного, підготовки шихти, розливання та ін.). Тому керування плавкою ефективне тільки в умовах стабільної технології і доброго стану устаткування.

У кисневих конвертерах, як правило, не використовуються зовнішні джерела теплоти, тому для них істотне значення має рівень теплових втрат. На температурний режим продувки дуже впливає тепла робота футерівки конвертера, що активно бере участь у теплообміні з продуктами рафінування.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія виплавки сталі в кисневому конвертері на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Виробництво сталі на комбінаті здійснюють в конвертерному цеху.

Введено в експлуатацію в грудні 1982 р. I етап першої черги конвертерного цеху у складі 2-х конвертерів ємністю по 250 т з верхнім продуванням киснем проектною потужністю 2,2 млн. т сталі на рік. У 1987 р. після проведення реконструктивних заходів II етапу. проектну потужність цеху збільшено до 2,8 млн. т сталі на рік. У грудні 1994р прийнято в експлуатацію I етап будівництва відділення безперервного лиття заготовок у складі двох МБЛЗ.

З пуском конвертерного цеху виведено з експлуатації старі цехи – мартенівський №2 та бесемерівський. З 1990 по 1999 р. поетапно виведено з експлуатації мартенівський цех №3.

У 2006 р. було досягнуто обсягу виробництва 3,628 млн. т сталі, у зв'язку з чим було затверджено виробничу потужність з виробництва конвертерної сталі 3,5 млн. т. У 2007 році було досягнуто максимального рівня виробництва сталі в конвертерному цеху 3,780 млн. т сталі. Структурна схема конвертерного цеху наведена на рис. 1.1.

Конвертерний цех складається з наступних виробничих відділень:

- міксерне відділення;
- шихтове відділення;
- шлакове відділення;
- завантажувальне відділення;
- конвертерне відділення;
- ковшове відділення;

- відділення комплексного доведення сталі;
- розливне відділення;
- відділення безперервного розливання сталі.



Рисунок 1.1 - Структурна схема конвертерного цеху

Конвертерне відділення оснащено двома конвертерами ємністю 250 т. Основні параметри конвертерів:

- металозавалка, т	- 285
- номінальна вага плавки по рідкій сталі, т	- 260
- робочий об'єм конвертера, м ³	- 222
- питомий об'єм рідкої сталі при новому футеруванні	- 0,85
- глибина ванни, м	- 1,8
- висота робочого простору, м	- 9,8
- внутрішній діаметр робочого простору, м	- 6,0
- відношення висоти робочого простору до діаметру	- 1,6
- діаметр горловини, м	- 3,2
- товщина робочого шару футеровки, м	- 0,925
- діаметр вставної частини днища, м	- 4,2

- маса футерування конвертера, т - 874
- швидкість повороту конвертера, об / хв - 1,0.

Конвертери обладнані:

- котлами-охолоджувачами ОКГ-130, що працюють з частковим допалюванням відпрацьованих газів, їх очищенням та видачею очищеного газу димососами на свічки для викиду в атмосферу,

- засобами оборотного водопостачання,

- продувними п'ятисопливими фурмами, що забезпечують витрату кисню до 1100 м³/хв,

- бункерами для сипких матеріалів та феросплавів, що забезпечують 2-х сторонню подачу матеріалів у конвертер та в ківш.

Завалка металевого брухту щільністю 1.1-1.2 т/м³ масою 45-65 т (15-25% від маси садки) виробляється одним совком ємністю 65 м³.

Заливка чавуну проводиться одним ковшем ємністю 250 т. До заливки чавуну в конвертер з поверхні чавуну в ковші зливається шлак. Завантаження здійснюється на установці скачування шлаку, розташованій при в'їзді чавуновозу з чавуновозної естакади в завантажувальний проліт.

Резервний заливальний ківш на чавуновозі №2 накривається кришкою для зниження тепловтрат.

Скорочення зносу робочого футерування конвертерів забезпечується роздуванням азотом підготовленого шлаку після зливу плавки за рахунок присадки вуглець-магній-кальціймісних матеріалів.

Для гарячого ремонту футерування конвертера є установки для торкретування футерування.

При зливі металу зі зниженим вмістом сірки на замовлення з конвертера в сталерозливний ківш здійснюється десульфуріяція сталі твердими шлакоутворюючими сумішами на основі вапна, шпату, та інших десульфуючих матеріалів.

1.2 Особливості експлуатації футеровки кисневого конвертера

Футерівка кисневого конвертера піддається цілому ряду руйнуючих дій [2]:

- хімічній дії з шлаком;
- високих температур, що викликають розм'якшення вогнетривів;
- термічної напруги при різких коливаннях температур, що викликають сколи вогнетривів;
- розмивання потоками металу і шлаку при продуванні, чавуном при його заливці, розмивання футерівки льотки при випуску металу;
- механічним при завантаженні лому.

Основні розміри робочого простору конвертера вибирають так, щоб не було істотних втрат металу з викидами і виносками; зведені до мінімуму втрати тепла через поверхню корпусу і в результаті випромінювання через горловину. Одночасно слід брати до уваги необхідність швидкого завантаження шихти, мінімальних капітальних витрат на агрегат. Шляхом урахування цих суперечних вимог сформувався оптимальний профіль робочого простору конвертера із таких фігур: верхнього зрізаного конуса, циліндра, нижнього зрізаного конуса і шарового сегменту [3].

Основні вимоги до вогнетривів [4]:

- висока вогнетривкість;
- висока стійкість до шлаку;
- термостійкість;
- стійкість до деформацій під навантаженням;
- володіти низьким коефіцієнтом термічного розширення;
- повинні бути недефіцитними і не дорогими.

Для кладки футерівки застосовують наступні види вогнетривів [5]:

1. Обпалені вогнетриви – це магнезитові, магнезитохромитові, хромомагнезитові володіють в два і більше разів більшою, ніж необпалені вогнетриви, міцністю при високих температурах, що забезпечує підвищення стійкості футерівки, особливо в ділянках, що піддаються ударній дії і дії потоку газів, що відходять.

Магнезитові вогнетриви. Магнезитовий порошок отримують в результаті високотемпературного випалення мінералу гірської породи - магнезиту $MgCO_3$. Потім магнезит дроблять на шматочки розміром 3 – 10 мм.

Для отримання магнезитової цеглини потрібно до магнезитового порошку додати до 2% залізняку, потім із зволоженої маси під великим тиском пресують цеглину, а потім сушать і обпалюють при температурі біля $1600^{\circ} C$. Достоїнством магнезитової цеглини є висока вогнетривкість і шлакостійкість, тому його застосовують для кладки арматурного шару кисневих конвертерів а також подини, стін і випускного отвору мартенівських печей. До недоліків відносяться висока теплопровідність, що може привести до втрат тепла, при різких коливаннях температури цеглина розтріскується [6].

Хромомагнезитові вогнетриви. Основу шихти для цих вогнетривів складає суміш з магнезитового порошку і хромиту. Для виготовлення вогнетривів використовують суміші, 80- 20%, що містять, MgO і 20- 80% хромиту. Залежно від того, який компонент переважає, вироби називають магнезитохромитові або хромомагнезитові. Перевагою цеглини є висока вогнетривкість (не нижче $2000^{\circ} C$).

2. Необпальні вогнетриви, це вогнетриви, при виготовленні яких використовують доломіт або магнезит обпалені при температурі біля $1600^{\circ} C$, потім їх розмолюють фракцією до 15 мм і змішують із зневодненою кам'яновугільною смолою. Після з отриманої маси пресують цеглу і блоки. З цієї необпаленої цегли викладають робочий шар футерівки, після чого її обпалюють, нагріваючи по спеціальному

режиму до температури 1100 °С шляхом спалювання у полості конвертера коксу при подачі кисню через фурму. При випаленні відбувається коксування смоли — летючі віддаляються і залишається міцний коксовий залишок, який обвалькує у вигляді тонкої плівки зерна вогнетрива скріплює їх, додаючи футеровці міцність; підвищує термостійкість; захищає зерна вогнетрива від взаємодії з шлаком. Залежно від ємності конвертера тривалість випалення близько 4 – 6 годин [7].

Недолік необпалених вогнетривів, і в першу чергу смолодоломита є сильна схильність до гідратації (насичення його вологою з атмосфери), внаслідок чого цеглина втрачає міцність і розсипається в порошок. Тому смолодоломітову цеглину не можна зберігати більше 4 діб після виготовлення. Для зниження схильності до гідратації необпалених вогнетривів іноді піддають термообробці, тоді їх можна довше зберігати і транспортувати на великі відстані.

3. Періклазовуглецеві вогнетриви є необпальними. Їх виготовляють з магнезитового порошку (MgO більше 96 %) і графіту, що додається в кількості від 10 до 23 %. Як в'язучу речовину використовують кам'яновугільну смолу . Для запобігання окисленню вуглецю в шихту вводять до 30 % антиокислювальних добавок Al , Mg або Si . Після змішування з шихти пресують цеглину. Потім отриманий виріб сушать при температурі до 300 °С для запобігання окисленню вуглецю. Періклазовуглецеві вогнетриви відрізняються від решти необпалених і від обпалених більшою стійкістю до шлаку (вуглець перешкоджає проникненню шлаку у вогнетрив), термостійкістю. Вогнетрив не схильний до гідратації [8].

Вибір вогнетривів залежить від сортаменту сталей, типу чавунів, що переробляються, форми конвертера.

Футерівка конвертера може складатися з трьох шарів (рис. 1.2 і 1.3) [9]:

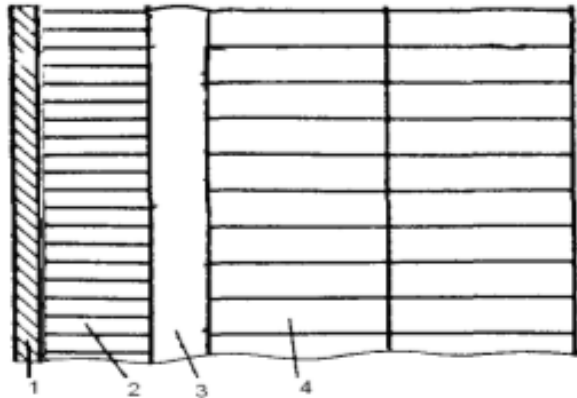


Рисунок 1.2 – Схема кладки футерівки кисневого конвертера:
1 - кожух; 2 – арматурний шар; 3 - шар набивання ; 4- робочий шар

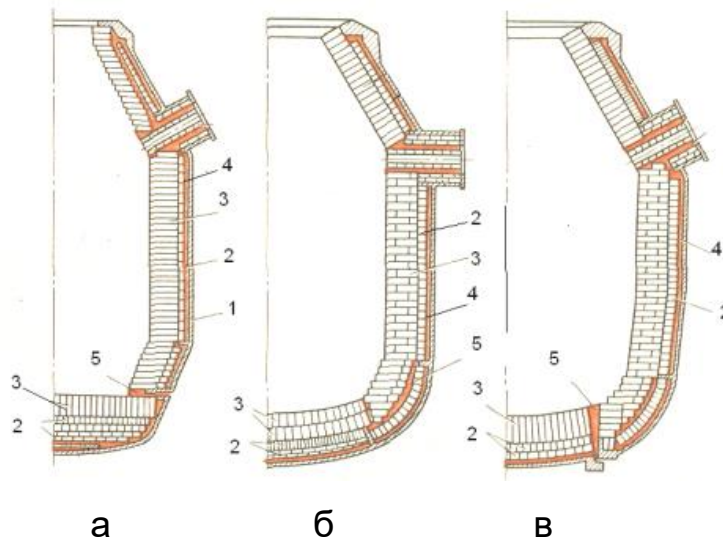


Рисунок 1.3 – Футерівка кисневих конвертерів: а – приставне днище; б- глуходоний конвертер; в – вставне днище; 1 – корпус конвертера; 2 – арматурний шар; 3 – робочий шар; 4 - передарматурний шар; 5 – вогнетривка маса.

1) арматурний - захищає корпус конвертера від руйнування у разі прогару робочого шару і зменшує тепловтрати. Викладають його з магнезитохромитової або магнезитової цеглини завтовшки 110-230 мм;

2) проміжний шар набивають із смолодоломитової маси завтовшки 50 – 100 мм. Він виконує функцію ущільнення робочого

шару; є сигнальною межею остаточного зносу робочого шару і захищає арматурний шар від проникнення металу і шлаку;

3) робочий шар - забезпечує технологічний процес ведення плавки. Виконують з необпалених вогнетривів, товщина шару 500 – 900 мм, застосовують цеглу великих розмірів – блоки.

Можуть використовуватися схеми футерування конвертеру без проміжного шару, коли простір між арматурним та робочим шаром укладається вогнетривкою масою. Наразі більшість конвертерів футерують у два шари: арматурний і робочий. Набивний шар відсутній через трудомісткість виготовлення, подовження тривалості ремонту, можливості збільшити товщину робочого шару [10].

Днище конвертера виготовляють багатошаровим. Нижні ряди виконують з шамотної цеглини. Потім викладають декілька рядів магнезитової цеглини на ребро і на торець. Кладка ведеться із засипкою швів магнезитовим порошком. Кожен наступний ряд кладки зміщується на 45° до попереднього. Робоча футерівка днища виконується в один шар із смолодоломітової цеглини із зсувом на 45° до останнього ряду магнезитової футерівки. (рис. 1.4).

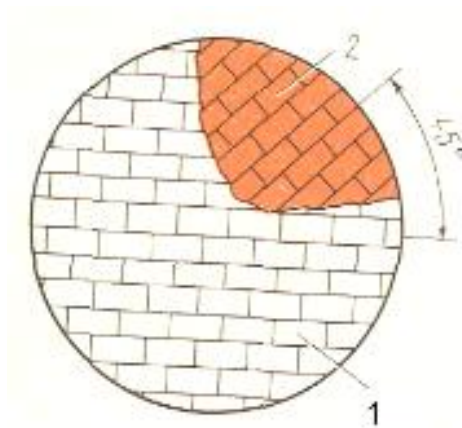


Рисунок 1.4 - Кладка паралельними рядами: 1 – вище розміщений шар; 2 – нижче розміщений шар кладки.

Робоча футерівка стін конвертера не повинна спиратися на кладку днища. Тому уздовж стін знизу укладається набивання із смолодоломітової маси з ретельною пошаровою її трамбівкою. Робочий шар циліндричної частини виконують з блоків частіше всього в два ряди з перев'язкою рядів, це досягається укладанням в цих рядах блоків різної довжини (рисунок 1.5) [11].

На межі верхньої конічної і циліндричної частин конвертера виконують сталевипускний отвір (льотку). Кут нахилу каналу отвору з горизонтом $0-45^\circ$ і визначається зручністю гарячих ремонтів отвору і траєкторією струменя під час зливання сталі. Льотку викладають із спеціальних блоків на основі плавлених вогнетривів, що добре протистоять розмивній дії розплаву.

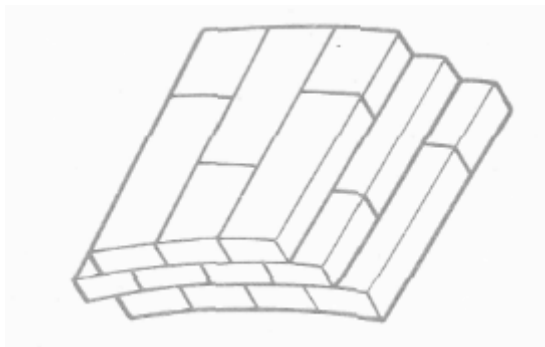


Рисунок 1.5 - Кладка робочого шару футерівки конвертера з вогнетривів різної довжини.

Стійкість футерівки конвертера на різних заводах в може бути в межах від 3000 до 10000 і більш плавов, що пов'язане як з якістю вогнетривких матеріалів, так і з технологічними умовами плавки [12].

Стійкість футеровки визначається стійкістю ділянок найбільшого зносу – це [13]:

- 1) футерівка циліндричної частини конвертера в районі шлакового поясу;
- 2) футерівка горловини;

3) льотка.

Заходи для підвищення стійкості футерівки :

- підвищення якості вогнетривів ;
- раціональний порядок завалки лому у лоток ;
- зниження вмісту SiO_2 в сипких матеріалах і кремнію в чавуні до оптимальної межі;
- раннє формування високоосновного шлаку;
- забезпечення окисленості шлаків (особливо кінцевих) на певному оптимальному рівні 12-14% (FeO), що пов'язано з двояким дією (FeO) на службу футерівки;
- забезпечення рівномірного введення вапна у ванну не пізніше 6 хвилини після початку продування, використання високоякісного вапна (CaO - 95%) ;
- виключення перегрівів металу в конвертері;
- зменшення числа додувок, які викликають додаткові коливання температури футерівки, підвищення окисленості шлаку;
- зменшення тривалості продування шляхом підвищення інтенсивності подачі кисню;
- дотримання оптимального дуттьового режиму;
- застосування диференційованої кладки, коли місця підвищеного зносу викладають з вогнетривів підвищеної стійкості або робляться більшої товщини;
- скорочення міжплавочних простоїв конвертера;
- торкретування футерівки.

Суть торкретування полягає в нанесенні за допомогою спеціальних торкрет-машин вогнетривкої маси на внутрішні, зношені ділянки футерівки.

Види торкретування [14]:

1) мокре - проводять попереднє змішування торкрет-маси з водою і подають в сопло фурми стислим повітрям у вигляді пульпи.

2) напівсухе - змішування маси з водою відбувається у фурмі і зволожену вогнетривку масу наносять на футеровку струменем стислого повітря.

У обох випадках використовують періклазові, доломітові порошки з добавкою в'язучих - рідке скло, силікатна глина.

Недолік способів - із-за наявності вологи структура нанесеного шару рихла, тому стійкість такого шару низька.

3) сутність факельного торкретування полягає в подачі за допомогою торкрет-фурми (рисунок 1.6) вогнетривкого порошку в суміші з паливом і киснем на гарячу футерівку, після зливу попередньої плавки. При горінні палива в кисні розвиваються високі температури, завдяки чому вогнетривкі частки на шляху до футерівки розм'якшуються і досягаючи футерівки, прилипають до неї.

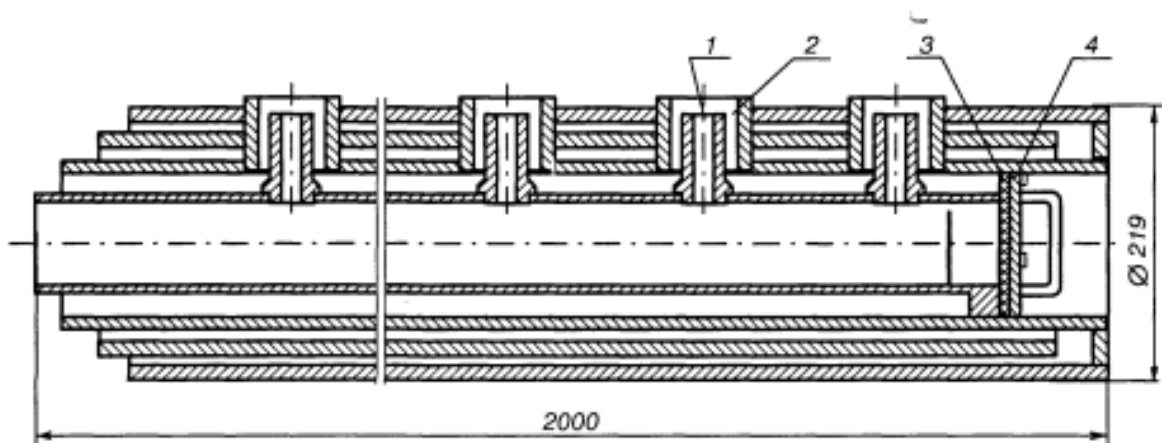


Рисунок 1.6 - Головка торкрет-фурми: 1 - сопло торкрет-маси; 2 - кисневе сопло; 3 - прокладка; 4 - зйомна заглушка

В якості вогнетривкої складової торкрет-мас можуть застосовуватися вапно, або вапно в суміші з різними добавками (доломіт, магнезит), в якості палива - коксик (20-25% торкрет-маси) або пропан, зріджений нафтовий газ. Товщина торкрет-покриття, що наноситься за одну операцію, становить 5-150 мм. Швидкість

зношення торкрет-покриття значно вище, ніж швидкість зношення вогнетривів, і становить 2-20 мм за плавку [15].

Торкретування можна здійснювати, починаючи з будь-плавки. Тривалість однієї операції 5-7 хв. Питома витрата торкрет-маси становить 2-4 кг / т.

Також застосовується метод ошлакування футерівки, який проводять залишаючи в конвертері шлак, в'язкість якого збільшують присадками доломіту або вапна. Проводять чотири-п'ять покачувань конвертера з витримкою на кожній стороні до 2 хв.

1.3 Аналіз теплової роботи кисневого конвертера

Джерелами тепла в киснево-конвертерному процесі є ентальпія рідкого чавуну і теплота, що виділяється в процесі хімічної взаємодії окислювача з елементами шихтових матеріалів [15]. Кисневий конвертер в якості теплотехнічного агрегату відноситься до печей – теплогенераторів [16]. Це пов'язано з тим, що виділення основної кількості тепла, необхідного для нагріву металу до заданої вихідної температури і компенсації всіх тепловтрат, відбувається в основному за рахунок виділення хімічного тепла безпосередньо в обсяг металеві ванни конвертера.

Загальне рівняння, що характеризує теплову роботу перетворювача, можна представити у вигляді [17]:

$$N_{рч} + Q_{ез} = N_{мш} + Nu.g + q_{тв} \cdot \tau \quad (1.1)$$

де $N_{рч}$ – ентальпія рідкого чавуну, металу, шлаку і вихлопних газів відповідно; $Q_{ез}$ – теплота екзотермічних реакцій; $N_{мш}$ – ентальпія металу і шлаку; τ – тривалість періоду виплавки; $N_{вг}$ – ентальпія відходячих газів; $q_{тв}$ – всі види тепловтрат.

Загальні тепловтрати кисневого конвертера можна записати як суму окремих компонентів [17]:

$$Q_{\text{ТВ}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \quad (1.2)$$

де q_1 – тепловтрати при охолодженні води фурми; q_2 – те саме до навколишнього середовища через корпус конвертера; q_3 – витрата тепла на нагрів футеровки, в процесі продувки; q_4 – тепловтрати через горловину конвертера.

Сумарне значення тепловтрат залежить від ряду факторів, основними з яких є:

- ємність конвертера і його геометрична форма,
- тривалість циклу плавлення,
- ступінь зносу футерування,
- розміри фурми.

Аналіз кожного компонента дозволяє кількісно оцінити величину цих втрат. Так що втрата тепла при водяному охолодженні фурми залежить від тривалості продувки, її розмірів і питомої тепловіддачі фурмі. З огляду на, що витрата води на охолодження фурми при продувці підтримується постійно, а умови теплопередачі від ванни до фурми незначно змінюються від плавлення до плавлення, втрати тепла при охолодженні води зазвичай становлять 0,5 ... 0,6% від введеної теплоти на плавильний завод [18].

Втрати тепла через корпус конвертера визначаються його габаритами і ступенем зносу футеровки, у зв'язку з цим ступінь тепловтрат в навколишнє середовище при проведенні перетворювальної кампанії безперервно зростає. Як показує практика, швидкість нагріву конвертерного кожуха без торкретування його футерування і в залежності від опору його робочого шару становить 0,3 ... 1,0 ° С за розплавлення [19].

Зазвичай поверхня корпусу до кінця кампанії нагрівається до 300... 350° С. В результаті середнє значення тепловтрат через корпус конвертера в навколишнє середовище досягає 0,3 ... 0,4 % від загального припливу тепла, досягнувши до кінця кампанії 0,7%...0,9 % [20].

Найскладнішим є визначення витрат тепла, що витрачається на обігрів футерування. Це пов'язано з частотою роботи конвертера і безперервною зміною товщини футерування. В процесі продувки вогнетривка футерування акумулює тепло, а в періоди між продувками футерування охолоджується. Враховуючи її велику товщину, порівняно низьку теплопровідність і нестационарність її температурного поля оцінити втрати теплоти аналітичними способами з достатнім ступенем точності в даний час неможливо. Тому комплексну оцінку теплових втрат на нагрівання футерування проводять зазвичай експериментально. Для цієї мети у футерування закладаються термодатчики, що дозволяють безперервно фіксувати зміну її температури по всій товщині протягом тривалого часу. Аналіз температурних кривих свідчить про те, що прогрів футерування по її товщині відбувається поступово. При цьому можна виділити дві ділянки, що відрізняються характером зміни температури в процесі плавки, - шар, що безпосередньо контактує з розплавом, і шар, віддалений від робочої поверхні.

Шар, що примикає до робочої поверхні, має товщину 80...120 мм та характеризується нестационарністю теплових умов. Його температура залежить від технологічних періодів роботи конвертера - періоду продування і часу між продувками. Температура глибинних шарів футерування, віддалених від гарячої поверхні на відстань >150 мм, за час однієї продувки змінюється дуже мало.

Оцінка кількості теплоти, акумульованої кладкою за період продування, на підставі експериментальних даних показує, що при

неритмічній роботі конвертера при частих і тривалих простоях вона може досягати 5% від сумарного приходу теплоти за одну плавку. При ритмічній роботі вона нижче і коливається в межах 2...3%, збільшуючись у міру зношування футерування.

Сумарні втрати теплоти на різні умови становлять 2 ... 6% від загального приходу теплоти на процес.

Конвертерна ванна розігрівається лише за рахунок тепловиділень у зоні продування, інтенсивність яких залежить головним чином від швидкості підведення окислювача та складу чавуну.

Температурний режим плавки в цілому залежить від інтенсивності продування, складу чавуну та його температури, а також від кількості, виду та порядку присадки охолоджувачів та шлакоутворюючих матеріалів.

Зміна прибуткової частини теплового балансу може бути досягнута за рахунок часткового допалювання оксиду вуглецю в порожнині конвертера, використання хімічних теплоносіїв, включаючи введення твердого палива, використання різного виду палива для підігріву металевих брухту в порожнині конвертера, нагрівання брухту або чавуну в спеціальних пристроях.

Таким чином, провівши літературний огляд та зробивши аналіз різноманітних джерел прийшли до висновку, що футерівка має істотний вплив на теплову роботу конвертера. В процесі роботи відбувається поступове руйнування шару футеровки та зменшення її товщини. Умови ведення плавки у зв'язку з цим змінюються як і технологічні показники процесу. Тому розглянемо паспорти плавок на протязі компанії футеровки конвертера і визначмо як впливає стан футеровки на основні технологічні показники процесу та якість металу.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У рішенні задач соціально-економічного прогресу країни важлива роль належить охороні праці: законодавству про працю, нормам і правилам промислової санітарії, техніці безпеки, а також протипожежній профілактиці, які безпосередньо визначають розвиток економіки і приріст суспільного багатства, підвищення добробуту народу.

Охорона праці - система законодавчих актів, соціально-економічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і коштів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [25-34].

Технологічні процеси виробництва основних видів продукції пов'язані з розливанням і транспортуванням рідкого металу, транспортуванням та вивантаженням гарячого агломерату, широким застосуванням доменного, коксового і природного газів, повсюдним використанням електроенергії, які створюють умови небезпеки для обслуговуючого персоналу та оточуючих.

3.1 Аналіз умов праці в конвертерному цеху

Як і будь-яке сучасне високорозвинене виробництво, конвертерний цех насичений великою кількістю механічного та енергетичного устаткування, залізничним і безрейковим транспортом. Наявність в процесі металургійного виробництва гарячого агломерату, рідкого чавуну і сталі, станів гарячої прокатки, використання доменного, природного газів, в конвертерному цеху аргону, азоту, технічного кисню, пари, гарячої води (понад 100 °С) і участь в процесі виробництва великої кількості вантажопідіймальних механізмів створюють певну небезпеку для робітників, тому кожному працівнику

необхідно суворо дотримуватися вимог безпеки на всій території підприємства, в конвертерному цеху та інших цехах.

Конвертерний цех призначений для виробництва сталі в конвертерах, її доведення на ділянці позаагрегатного доведення сталі, розливання на машинах безперервного лиття заготовок, виробництва вапна, переробки металобрухту і металовідходів.

Наявність у процесі виробництва конвертерного цеху переливу чавуну з доменних ковшів до міксеру та у чавуновозні: ковші, продувка плавов у конвертерах киснем за допомогою фурми, у сталерозливних ківшах аргонем (азотом) через днище ковша, нагрівання температури металу, розливання сталі на машинах безперервного лиття заготовок; переміщення ківшів з рідким чавуном та сталлю, совків з металобрухтом, шлакових чаші з гарячим шлаком, відвантаження гарячих блюмів та різних вантажів, процес облалювання вапна, використання природного газу та участь у процесі виробництва великої кількості вантажопідіймальних механізмів створюють певну небезпеку для працівників. Кожному працівнику необхідно суворо дотримуватись вимог безпеки та заходів особистої обережності.

До виконання робіт допускаються особи не молодші 18-ти років, які пройшли медичний огляд та визнані придатними до виконання даної роботи, вступний, первинний інструктаж, стажування з охорони праці, теоретичне та практичне навчання за даною професією та професією стропальник, для робіт з киснем та аргонем, що мають відповідні посвідчення та допущені до виконання самостійної роботи розпорядженням по цеху.

Для виконання робіт у конвертерному відділенні конвертерного цеху застосовуються такі механізми та пристрої:

- конвертери;
- аргонопровід для донної продувки аргонем у ковші;
- знімні вантажозахоплювальні пристрої;

- пневматичний молоток;
- передавальний візок для прибирання настилів;
- автоматизоване установка відбору проб;
- пристосування для встановлення шлаковідсічних стопорів;
- пневматичний затвор відсічення кінцевого шлаку під час випуску плавки з конвертерів.

До **основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів** на робочому місці сталевара відносяться:

- вантажопідйомні механізми;
- рухомі механізми з розплавленим металом;
- можливість викиду шлаку, металу;
- інфрачервоне випромінювання;
- підвищена температура на робочому місці;
- підвищена запиленість на робочому місці;
- виробничий шум;
- передавальні візки, автотранспорт.

Працівники конвертерного цеху повинні бути забезпечені спецодягом відповідно до розробленого на підприємстві Переліку.

Забороняється: Знаходження на території підприємства в стані алкогольного/наркотичного/токсичного сп'яніння; Умисне псування, зняття, виведення з ладу захисних пристроїв і огорожень з подальшим входом за захисні огороження, в позначену небезпечну зону; Виконання робіт на висоті без застосування засобів захисту від падіння; Знаходження в газонебезпечних місцях І та ІІ груп без відбору проб повітряного середовища та газозахисної апаратури, проведення газонебезпечних і вогневих робіт в замкнутому просторі без аналізу повітряного середовища.

Вимоги безпеки перед початком роботи. Необхідно переодягтись в передбачений за нормами спецодяг, спецвзуття. Перевірити наявність та стан засобів індивідуального захисту.

Перевірити справність:

- кріплення кисневих рукавів до тримачів хомутами;
- кисневої та аргонної арматури (відсутність витоку);
- вантажозахоплювальних пристроїв, наявність на них бирок із зазначенням реєстраційного номера, вантажопідйомності та дати випробування;
- робочого інструменту та пристроїв;
- пристрій установки шлакових стопорів;
- освітлення, бар'єрів, сходів, майданчиків;
- пневматичних молотків;
- пневмопошти;
- передавального візка для прибирання настилів;
- пневматичного затвора відсічення кінцевого шлаку під час випуску плавки з конвертерів;
- розсувних двосекційних воріт з боку завантаження матеріалів у конвертера та випуску сталі з нього;
- автоматизованої установки відбору проб;
- системи випарного охолодження конвертерів.

Вимоги безпеки під час виконання роботи. Перевірити наявність засобів індивідуального захисту, наявність і справність огорожувальних пристроїв, захисних засобів і вантажозахоплювальних пристроїв, що знаходяться у використанні бригади.

Працювати тільки у справному спецодязі та спецвзутті, користуйся від повідними засобами захисту та запобіжними пристосуваннями.

Не допускається виконувати огляд, ремонт, регулювання та очищення обладнання під час його роботи.

Перед завалкою матеріалів в конвертер необхідно переконатися в справності футеровки конвертера і днища, горловина повинна бути повністю очищеною від металу та шлаку попередньої плавки.

Заливку чавуну виконувати малим струменем і припиняй її при виникненні бурхливих реакцій у конвертері.

Завантаження металобрухту виконувати спеціальними совками, завалочним краном, при завантаженні заливальними кранами використовуй для цього спеціальну траверсу.

Перед заливкою чавуну необхідно перевірити:

- стан цапф ковша;
- стан зливного носка ковша;
- правильність зачеплення гаками за цапфи ковша;
- відсутність вологи в металошихті.

Завалку скрапу і заливку чавуну необхідно проводити, перебуваючи на відстані не менше 10 метрів від горловини конвертера і поза небезпечною зоною так, щоб була пряма видимість для подачі команд машиністу крана і машиністу дистрибутора і видимість горловини конвертера і чавуновозного ковша (совка).

Під час продувки плавки необхідно відійти в безпечне місце (на відстань не менше 10 метрів від конвертера).

Відбір проб виконується при зачинених двосекційних розсувних воротах, сухою (вибіленою у вапняному молоці) ложкою в прогріту спеціальну пробницю або пробовідбірником.

Під час випуску металу та зливу шлаку необхідно працювати у захисних окулярах, спецодяг має бути застебнутий на всі ґудзики. При віддачі розкислювачів у ківш необхідно дотримуватися заходів особистої обережності, використовуй засоби індивідуального захисту.

Ремонт льотки необхідно виконувати в захисних окулярах зі спеціальної площадки, не охолоджуй футеровку при цьому водою.

Видалення настилів з льотки конвертера необхідно проводити тільки за допомогою кисневої трубки, довжиною не менше 3 м або ломиком, вручну. Будь-який інший спосіб обриву настилів забороняється.

Не допускається робота з несправною запірною арматурою, при порушенні ізоляції електрокабелів, при відсутності заземлення, написів на кнопкових пристроях дистанційного керування механізмами.

Вимоги безпеки під час роботи з киснем. Робота проводиться бригадою з 2-х осіб, один з яких виконує роботи з порізки металу кисневою трубкою, а другий знаходиться біля запірної арматури. При роботі з киснем не працюй у промаслених рукавицях і спецодязі, дотримуйся заходів особистої обережності.

Для різання "козлів" застосовуй лише металеві трубки з внутрішнім

Вимоги безпеки після закінчення роботи. Необхідно прибрати робочий інструмент, пристосування в місця їх зберігання.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. При прогарі броні корпусу конвертера або днища під час продувки, плавки або під час знаходження плавки в конвертері необхідно після уважного огляду очага прогару злити плавку з конвертера через сталевипускний отвір або через горловину, з боку завантажувального прольоту в залежності від місцезнаходження очагу прогару.

3.2 Заходи поліпшення умов праці

Для усунення невідповідностей нормативним вимогам щодо мікроклімату рекомендується провести заходи по захисту робочих від джерел тепловиділення. Так передбачається провести наступні заходи по захисту робочих:

- встановлювання теплозахисних екранів;

- встановлювання відсмоктувального зонту;
- забезпечення робочих термозахисним одягом.

Для зменшення кількості пилу та газу на робочих місцях необхідно встановити аераційний витяжний ліхтар. Тому виконаємо розрахунок аераційного ліхтарю.

Вихідні дані: обсяг споруди - 8640 м³; тепловиділення – 200 ккал/год м³.

1. Надмірне тепловиділення в цеху:

$$Q_{\text{над}} = q \times V_{\text{прим}} \times 0,8, \text{ ккал/год} \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{над}}$ - надмірне тепловиділення в цеху; q - питома тепловиділення, ккал/м³год; $V_{\text{прим}}$ - обсягом приміщення, м³.

Тоді:

$$Q_{\text{над}} = 200 \times 8640 \times 0,8 = 1,4 \times 10^6 \text{ ккал/год}$$

2. Кількість повітря, яке повинно пройти крізь витяжні отвори ліхтаря

$$V_{\text{пов}} = Q_{\text{над}} / C \times \Delta t \quad (3.2)$$

$$V_{\text{пов}} = 0,78 \times 10^6, \text{ м}^3/\text{год}$$

де C - об'ємна теплоємність повітря, ккал/м³ ; Δt - різниця температур у витяжного отвору і навколишнього повітря (звичайно приймається у межах від 4 до 10 град).

3. Площа витяжних отворів ліхтаря:

$$P = V_{\text{пов}} / m \times (2 \times g \times [(f_1 - f_2) / f_2] \times H)^{1/2} \times 3600, \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

де m - коефіцієнт враховуючий опір відтворений отворами; f_1, f_2 - різниця питомої ваги навколишнього і внутрішнього повітря, кг/м^3 ; H - відстань між осями припливних і витяжних отворів приміщення, м.

Тоді:

$$P = 0,78 \times 10^6 / 0,65 \times (2 \times 9,81 \times ([1,173 - 1,15] / 1,15) \times 12)^{1/2} \times 3600 = 153,4 \text{ м}^2$$

Розподілив цю площу з обох боків витяжного отвору ліхтаря при довжині робочого майданчика в 36 м і кількості рядів ліхтар 1 отримаємо висоту витяжного отвору:

$$h_{\text{отв}} = P / 2 \times L \times n = 153,4 / 2 \times 36 \times 1 = 2,13 \text{ м} \quad (3.4)$$

4. Площу припливних отворів приймаємо з запасом, що дорівнює 50%:

$$F_{\text{пр}} = 1,5 \times F = 1,5 \times 153,4 = 230,1 \text{ м}^2 \quad (3.5)$$

Також передбачається провести заходи по захисту робочих від ураження електричним струмом - захисного заземлення устаткування.

Працівники цеху забезпечуються засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) на підставі НПАОП 27.0-3.01-08 [33].

За санітарно-гігієнічною характеристикою виробничий процес на ділянці відноситься до ІІб групи виробничих процесів згідно ДБН В.2.2-28:2010 [34].

Для даної групи передбачений наступний состав санітарно-побутових приміщень: гардеробні, душові, умивальні, пункти харчування, вбиральні, пункти питного водопостачання, пункт охорони здоров'я.

3.3 Захист навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища для багатьох підприємств, особливо металургійних, є сьогодні великою проблемою. Зараз забруднення повітря і водного басейнів призводить до підвищення концентрації шкідливих речовин в атмосфері і водах.

Не виключення у цьому є і киснево-конвертерний цех.

Використовуючи воду для охолодження металургійних агрегатів при виконанні багатьох технологічних процесів утворюються умовно "чисті" води. Очищення їх відбувається у спеціальних відстійниках, ефективність чого не дуже велика. Як результат відбувається скидання фактично неочищених, перенасичених частками металу і забруднених нафтопродуктами вод, прямо у річку Дніпро, що приносить досить суттєву шкоду її екологічному стану.

Вода, яка використовується на металургійних підприємствах, повинна очищуватися від розчинених солей, зважених речовин і так званого теплового забруднення, щоб її можна було використовувати багаторазово і не зливати у річку. Також для зменшення витрат води водяне охолодження замінюють випарювальним. Якщо використовувати не технічну, а хімічно очищену воду, то можна нагрівати її до температури 100⁰С і вище. При цьому від охолоджуючого елемента відводиться не тільки тепло, яке використовується на нагрівання води до кипіння, але й скрита теплота пароутворення. Це дозволяє зменшити витрати води у тридцять разів.

Також від устаткування комплексу киснево-конвертерного цеху в атмосферне повітря викидаються зважені речовини, оксиди азоту, сірки, вуглецю. Пил кисневих конвертерів являє собою порошок чорного кольору, густина його 4-5,1 г/см³. Пил складається в основному з дрібнодисперсних сферичних частинок з медіанним розміром 0,08 мкм. На останніх 2-3 хвиликах плавки тонкодисперсний

пил утворюється в результаті випаровування металу і оксиду заліза в цій зоні і конденсації їх парів в більш холодних частинах газового тракту. Великі частинки пилу представляють собою частинки шихти, крапельки шлаку і оболонки бульбашок оксиду вуглецю, які виносяться із ємкості газовим потоком.

У всіх нових конвертерних цехах на металургійних заводах за конверторами встановлюють котли - утилізатори, які розташовують в каміні. Ці котли - утилізатори постачені примусовою циркуляцією води й відрізняються від котлів - утилізаторів інших типів більшими розмірами отвору для входу конвертерних газів, можливістю роботи в умовах запилених газів, різких коливань теплового навантаження, паропродуктивності й температурного режиму.

Звичайно в під'ємному газоході - каміні встановлюють радіаційні пучки труб, а в опускному газоході - конвективні поверхні нагрівання й економайзери. У котлах - утилізаторах газ охолоджується до температури приблизно 500°C. Перед газоочисткою його додатково охолоджують у порожніх скруберах або трубах Вентурі.

Кількість конвертерного газу після доопалення оксиду вуглецю залежить від ємності конвертера, марки сталі, що виплавляється, а також технологічного процесу плавки. Кількість конвертерних газів залежить в основному від витрат кисню, який необхідний для вигорання вуглецю, складу шлакоутворюючих добавок (вапна, вапняку), хімічного складу чавуну і сталі, що одержуються в результаті процесу, та деяких інших факторів. Гази, що відходять, виносять з собою пил сипучих матеріалів, краплі металу і шлаку, вміст яких коливається від 20 г/м³ до 200 г/м³. Щоб запобігти викидам в атмосферу, конвертери обладнані газоочисними пристроями, серед яких переважають газоочистки з мокрим способом очищення газів. Такі газоочистки є основним джерелом утворення шламів - суміші твердих частинок, які містяться в стічних водах.

Принцип роботи газоочисток мокрого типу полягає у створенні між частинками пилу і краплями рідини таких відносних швидкостей, при котрих відбуваються зіткнення і захоплення частинок рідиною, що виносить пил із очисного апарату у вигляді шламу. Пиловловлювачі мокрого типу характеризуються простотою конструкції, невеликими габаритами, частковим вловлюванням разом із завислими частинками газоподібних компонентів, а також можливість роботи на гарячих газах.

Однак газоочистки мокрого типу мають і недоліки: значні витрати енергії при високих коефіцієнтах очистки, необхідність організації циклу оборотного водозабезпечення, корозійний знос обладнання, погіршення умов розсіювання пилу і шкідливих газів, що викидаються в атмосферу, за рахунок зниження їх температури, а також отримання вловленого шламу, що ускладнює і удорожчує підготовку до подальшого його використання. Із пиловловлювачів мокрого типу найбільше поширення отримали труби Вентурі.

Продувка киснем конвертера викликає збільшення кількості газів, що відходять. В цих умовах є доцільним використання схеми відводу і очистки газів з частковим спалюванням оксиду вуглецю, при якому їх кількість менша, аніж при повному до опалюванні.

При відводі газу з частковим спалюванням оксиду вуглецю між горловиною конвертера і кесоном залишається зазор. Однак потужність димососу регулюють на роботу в режимі відсосу газів, який на 10 - 15 % перевищує кількість конвертерного газу, що утворюється в період максимального його виділення під час плавки. Процес часткового доопалювання оксиду вуглецю здійснюють в газовідводному тракті при коефіцієнті надлишку повітря $0,6 > a > 0,3$. Технологічний пил, що виноситься із конвертера в газовідводний тракт, представляє собою досить дрібну дисперсну суміш, хоча в деяких випадках в ній містяться і відносно великі частинки.

Питоме пиловиділення залежить від багатьох факторів: інтенсивності дуття, конструкції фурми, тиску кисню, гранулометричного складу шихтових матеріалів, режиму плавки і т. ін.

Для очищення газу від укрупненого пилу встановлюють інерційний апарат, центробіжний циклон або скруббер, або послідовно і той, і інший. Турбулентний промивач складається із трьох частин: конфузора, горловини і дифузора. Запилений газ вводять в широкий отвір конфузора, в якому збільшується його швидкість. На деякій відстані від горловини в конфузоре або безпосередньо в горловину подають воду. В горловині газ набуває високої швидкості руху; в турбулентному потоці вода дробиться на дрібні краплини, а газова оболонка навкруг дрібних частинок пилу руйнується. Чим вище швидкість руху газу, тим дрібніші краплі і більша їх кількість.

Найважливішим напрямком зниження промислових викидів в повітряний басейн є вдосконалення технології виробництва процесів і основного технологічного обладнання.

ВИСНОВКИ

У першому розділі випускної кваліфікаційної роботи магістра за літературними даними дана коротка характеристика футеровки конвертера та її призначення.

У другому розділі проведено аналіз роботи конвертера ємністю 250 т в різні періоди кампанії футерівка.

Встановлена залежність між станом футеровки та вмістом FeO в шлаку, температурою сталі під час повалки та виходом придатної сталі.

Аналіз показав, що ці зносом футеровки збільшується вміст FeO в кінцевому шлаку з % в початковий період кампанії до % в кінцевий період. Середня температура повалки відповідно знижується з до °С, а вихід придатного знижується з% до%.

Проведено розрахунки зміни теплового балансу конвертеру при зміні товщини шару футеровки.

Встановлено, що при зносі футеровки збільшуються втрати тепла крізь футеровку з до % та на її нагрів з до%. Та загальні теплові втрати збільшуються на 1 % від загальної кількості внесеного в конвертер тепла.

За умови роботи конвертера з максимальною витратою лому збільшення втрат тепла потребує додаткових витрат для розігріву сталі перед випуском. Це, в свою чергу, викликає збільшення вмісту FeO в шлаку, погіршення умов десульфурації сталі та зниження виходу придатного.

Аналізу теплової роботи конвертеру в різні періоди кампанії футеровки показав, що в наслідок зносу футеровки порушується теплова робота конвертера та погіршуються показники процесу виплавки сталі. Запропоновано для захисту футеровки та сповільнення її зносу рекомендується використовувати нанесення

захисного шлакового гарнісажу з підвищеним вмістом (...-.....%) MgO в ньому.

Згідно з розрахунками економічної ефективності запропонованих технологічних заходів (заходи з захисту футеровки від зносу шляхом нанесення на її поверхню шлаку з підвищеним вмістом MgO) зниження собівартості сталі складає грн/т. При загальній річному виробництві сталі марки 5ПСМ1 на рівні тис. тон річний економічний ефект буде складати понад млн. грн, а термін окупності для інвестицій в розмірі млн. грн складе роки.

В розділі «Охорона праці та захист навколишнього середовища» розглянуті основні і небезпечні виробничі чинники, а також розроблені заходи щодо їх усунення або зменшення в умовах конвертерного цеху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. World Steel in Figures 2024. [URL:https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/](https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/) (дата звернення: 21.01.2025).
2. Schriefer J. Making a more reliable heat in the BOF. *New Steel*. 1996. № 5. P.48-52.
3. Сталеплавильне виробництво: В.І. Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко та ін. К.: ІЗМН, 1996. 400 с.
4. Теоретичні основи сталеплавильних процесів: Навч. посібник М.Я.Меджибожський, П.С.Харлашин. К.: НМК ВО, 1993. 276 с.
5. Мовчан В. П., Бережний М. М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. 336 с.
6. Чернега, Д. Ф. Богушевський В. С., Готвянський Ю. Я. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник. К.: Вища школа, 2006. 503 с.
7. Бойченко Б.М., Охотський В.Б. Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, конструкції агрегатів.: Підручник. - Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-Вал», 2006.- 454 с
8. Полетаєв В. І. Конспект лекцій з дисципліни «Конструювання технологічних агрегатів (за фахом)» для студентів спеціальності 136 - «Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія чорних металів» (з усіх форм навчання). Кам'янське, ДДТУ, 2018. 60 с.
9. Крячко Г.Ю. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Споруди та обладнання сталеплавильних цехів» для студентів денної форми навчання напряму 6.050401 «Металургія». Кам'янське: ДДТУ, 2016. 24 с.
10. Богушевський В.С. Сергеева К.О. Статичний розрахунок металевої частини шихти киснево-конвертерної плавки. *Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: зб. праць співробітн. і*

студентів каф. “Фізико-хімічних основ технології металів”. К.: ІНЦ “Видавництво «Політехніка»”. 2009. С. 222 - 227.

11. Богушевський В. С., Сергеева К. О., Сухенко В. Ю., Жук С. В. Розрахунок металевої частини шихти киснево-конвертерної плавки. *Металургійна та гірничорудна промисловість* . 2010. № 7. С. 266 – 269.

12. Богушевський В.С., Сухенко В.Ю. Керування режимом дуття конвертерної плавки. *Наукові вісті НТУУ „КПІ”*. 2009. № 1. С. 58 – 64.

13. Богушевський В.С., Сергеева К. О. Кінетичні характеристики перехідних масообмінних процесів. *Матеріали Міжнародної наук.-техн. конференції “Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 3” 28 – 29 грудня 2010 р.* Київ, Нац. техн..ун-т України «КПІ», 2010. С.76 - 80.

14. Богушевський В. С., Сергеева К. О. Контроль температурного режиму конвертерної плавки. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2009. № 6. С. 75 – 80.

15. Fruehan R. J. The Making, Shaping and Treating of Steel. Pittsburg: The AISE Steel Foundation. 1998. 767 p.

16. Martino M., Fenu M., Anfosso A. Refractory Lining for Oxygen Converters: Recent Experiences in this Field. *Proceedings of 5-th European Steelmaking Conference, 26-28 June, 2006, Aachen, Germany, Dusseldorf: Steel Institute VDEh, 2006. P 229-233.*

17. Kharlashin, P. S., Sinelnikov, V. O., & Mohammed, A. K. (2015). До питання про підвищення стійкості футеровки кисневих конвертерів. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, 1(30), 80–89.

18. Сергеева К.О. Энергозберігаюча технологія в конвертерному виробництві. *Матеріали міжнародної конференції “До високих технологій на основі новітніх фізикоматеріалознавчих*

досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів". Київ. 2009. т. 1. С. 124-127.

19. Kumar S.D., Prasad G., Ghorui P.K., Ranjan M. Coolant strategies for BOF steelmaking. *Ironmaking & Steelmaking*. 2008;№ 35(7). pp. 539-544.

20. Ambasivam, R., Lenka, S., Durst, F. A New Lance Design for BOF Steelmaking. *Metall Mater Trans*. 2007. B 38, pp. 45–53.

21. Martino M., Fenu M., Anfosso A. Refractory Lining for Oxygen Converters: Recent Experiences in this Field // Proceedings of 5-th European Steelmaking Conference, 26-28 June, 2006, Aachen, Germany – Dusseldorf: Steel Institute VDEh, 2006 – P 229-233.

22. C. Liu, L. Tang, J. Liu and Z. Tang. A Dynamic Analytics Method Based on Multistage Modeling for a BOF Steelmaking Process. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 1097-1109

23. Богушевський В. С., Скачок О. Е. Дослідження температурного поля футерівки конвертера. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»: науково-технічний журнал*. 2015. № 1(99). С. 52–57.

24. Oku Susumu, Mimura Mitsutosi, Akamatsu Setuo. Development of slag coating method for oxygen converter. *Taikadutsu Refractories*. 1983. Vol. 35. № 300. P. 17–21.

25. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. К. Мінбуд України. 2007.

26. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Мінздрав, 1999.

27. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999.

28. Правила улаштування електроустановок ПУЕ-2017. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

29. ДСТУ EN 12021:2017 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Стиснені гази для дихальних апаратів (EN 12021:2014, IDT).

30. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-11887.

31. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: Мінрегіон України, 2016.

32. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. – К.: МВС, 2014. – 47 с.

33. НПАОП 27.0-3.01-08. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості - https://dnaop.com/html/32412/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_27.0-3.01-08.

34. ДБН В.2.2-28:2010 "Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення". – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011.