



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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП Металургія сталі

Христина МАЛІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Металургія сталі»
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Дослідження процесу роздуву шлаку в кисневих
конвертерах з метою подовження кампанії конвертера»**

Керівник роботи

Костянтин НІЗЯЄВ

Консультант від
бази практики

Євгеній ТКАЦЕВИЧ

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

Здобувач

Ярослав САВЧУК

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

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	гірничо-металургійний
Кафедра	металургії, матеріалознавства та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	136 Металургія
ОПП	Металургія сталі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП Металургія сталі

Христина МАЛІЙ

«05» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Савчука Ярослава Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження процесу роздуву шлаку в кисневих конвертерах з метою подовження кампанії конвертера

керівник роботи Нізяєв Костянтин Георгійович, д-р. техн. наук, професор

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

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Світовий та вітчизняний досвід технологічних рішень підвищення стійкості футеровки конвертора, в тому числі за рахунок роздуву кінцевого шлаку. Хімічні та фізичні властивості кінцевого конверторного шлаку. Фізико-хімічні закономірності служби футеровки кисневого конвертора. Різновиди матеріалів футеровки конвертора, її дизайну, топографії зносу в конверторному цеху ПрАТ «Каметсталь».

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження процесу роздуву шлаку в кисневих конвертерах з метою подовження кампанії конвертера. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз техніко-економічних показників роботи конвертора. Визначення взаємозв'язків між технологічними особливостями виплавки сталі та тривалістю кампанії конвертора.. Розробка технічних по підвищенню стійкості футеровки конвертора. Розділ 3. Охорона праці. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 5-8 слайдів основної частини, 1-2 слайди економічна частина

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
4	Латишева О.В., канд. екон. наук, доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретична частина (аналітично-пошуковий)	25.12.2023 – 31.12.2023
2	Розділ 2. Технологічна (основна) частина	31.12.2023 – 12.01.2024
3	Розділ 3. Охорона праці	03.01.2024 – 12.01.2024
4	Розділ 4. Економічний розділ	03.01.2024 – 12.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	08.01.2024 – 12.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	10.01.204 – 12.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	12.01.2024 – 21.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи.	12.01.2024 – 15.01.2024
9	Захист	за розкладом

Здобувач

Ярослав САВЧУК

Керівник роботи

Костянтин НІЗЯЄВ

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Аналітичні дослідження процесу роздуву шлаку в кисневих конвертерах з метою подовження кампанії конвертера	6
1.1 Механізм руйнування периклазовуглецевих вогнетривів у кисневих конвертерах	7
1.2 Підвищення стійкості футерівки кисневих конвертерів	10
2 Основна частина	20
2.1 Технологія ошлакування вогнетривкої футерівки кисневих конвертерів ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	20
2.2 Встановлення взаємозв'язків між стійкістю футерівки та умовами її експлуатації	22
2.3 Рекомендації до збільшення стійкості футерівки	38
3 Охорона праці та захист довкілля	40
3.1 Загальна характеристика умов праці	40
3.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика	44
3.3 Захист навколишнього середовища	47
4 Економічна частина	49
4.1 Огляд факторів, що впливають на економічну ефективність запропонованих заходів	49
4.2 Визначення приросту річної продуктивності конвертера	51
4.3 Визначення економічної ефективності запропонованих заходів	52
Висновки	54
Список використаних джерел	55
Додатки	60

ВСТУП

На даний момент киснево-конвертерний процес виплавки сталі є основним засобом виробництва низьколегованої сталі. Даний спосіб виробництва відрізняється високою продуктивністю та меншою порівняно з електропіччю та мартенівською піччю тривалістю циклу плавки. Кампанія конвертера складається з основного технологічного часу, що витрачається на здійснення технологічних операцій виплавки та суміжних процесів; часу гарячих простоїв, який використовується для ремонту футерівки у гарячому стані та часу холодних простоїв, який використовується для демонтажу старої футерівки та встановлення нової. Таким чином продуктивність киснево-конвертерного цеху в цілому залежить від продуктивності кисневих конвертерів. Враховуючи, що підвищити продуктивність конвертера можна лише за рахунок скорочення часу холодних та гарячих простоїв, на даному етапі загальну продуктивність всього сталеплавильного переділу визначає саме стійкість вогнетривкої футерівки.

Задача збільшення продуктивності виплавки сталі у кисневих конвертерах значно підвищує роль вогнетривкої футерівки. Стійкість вогнетривкої футерівки безпосередньо впливає не лише на продуктивність агрегатів, а й на якість сталі, що виплавляється [1]. Відмінності у фізико-хімічних процесах в різних зонах робочого простору конвертера призводять до того, що різні ділянки практично однорідної футерівки зношуються з різною швидкістю. Таким чином, необхідно більш детально проаналізувати механізм руйнування вогнетривкої футерівки та метод роздуву кінцевого шлаку, як одну з найефективніших технологій подовження тривалості експлуатації футерівки кисневого конвертера.

1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДУВУ ШЛАКУ В КИСНЕВИХ КОНВЕРТЕРАХ З МЕТОЮ ПОДОВЖЕННЯ КАМПАНІЇ КОНВЕРТЕРА

Практикою останніх років встановлено, що при зниженні вмісту домішок (особливо Fe_2O_3) у магнезиті (до концентрацій менш 1,5%) та графіті у 2 рази за інших рівних умов, стійкість футерівки підвищується більш ніж втричі. Таким чином, однією з найголовніших вимог до вогнетривів є хімічна чистота сировини для їх виробництва. Значну роль у процесі служби вогнетривів відіграє фракційний склад сировини, що містить магній. Так використання вихідних матеріалів, які містять кристали MgO великого розміру призводить до зменшення поверхні контакту їх з компонентами рідкої шлакової фази. Відповідно до цього вогнетривка продукція для футерування кисневих конвертерів кращих світових виробників виготовляється з 100 % електроплавленого магнезиту [1].

Дослідження впливу гранулометричного складу частинок MgO та вуглецю шляхом нагрівання чотирьох типів цеглин зразків $\text{MgO}-\text{C}$ з різними розподілами розмірів за розміром на поведінку реакції $\text{MgO}-\text{C}$ показало, що реакція MgO з C інтенсифікується при збільшенні частки дрібних часточок MgO та дрібних часточок вуглецю. За результатами досліджень на основі моделі непрореагованого ядра з урахуванням статистичної функції розподілу була розроблена та вдосконалена кінетична модель реакції $\text{MgO}-\text{C}$. Покращена модель розглядає вплив гранулометричного складу вогнетривких матеріалів на швидкість реакції $\text{MgO}-\text{C}$ і пояснює вплив розміру часточок вуглецю на реакцію $\text{MgO}-\text{C}$ [2].

1.1 Механізм руйнування периклазовуглецевих вогнетривів у кисневих конвертерах

Периклазовуглецеві вогнетриви у конвертері працюють за вкрай жорстких умов: окислювальна атмосфера (за температур понад 600 °С) взаємодіє з вуглецем у зв'язці вогнетрива, а шлакометалевий розплав просочується у вогнетриви крізь пори та канали [3]. Виділяють три основні механізми руйнування конвертерної футерівки: термічний, механічний та хімічний з різним ступенем інтенсивності в різних її зонах.

Термічне руйнування викликане нерівномірним її нагріванням, протіканням екзотермічних реакцій, циклічним нагріванням та охолодженням, режимом продувки та призводить до виникнення тріщин.

Механічні навантаження відбуваються при завалці металошихти, русі рідких фаз в порожнині конвертера, його обертання та через дефекти кладки. Це призводить до виникнення значних внутрішніх напружень.

Хімічний механізм відбувається в чотири етапи [4]:

- окиснення вуглецю зв'язки киснем повітря, дуття та оксидів шлаку. Воно супроводжується збільшенням пор та розвитком пористості. Також може відбуватися розчинення вуглецю у металевому розплаві та реакція вуглецю вогнетривів з оксидом магнію шлаку, що утворює пористий шар на робочій поверхні;
- проникнення розплавів вглиб вогнетриву з пошкодженням його матриці;
- розчинення компонентів вогнетриву в шлаку внаслідок дифузії з утворенням вторинних силікатів, шпінелідів та ін. з подальшим проникненням оновленої рідкої фази між границями зерен;
- вимивання крупних зерен периклазу зі структури (ерозія), що підтверджено дослідженнями складу шлаку на границі контакту з вогнетривом [4].

Введення у склад зв'язки вогнетривів антиоксидантів сповільнює окиснення вуглецю [5]. Зокрема, введення металевого магнію, що легко окислюється з утворенням периклазу навіть в присутності графіту за незначного парціального тиску кисню, призводить до утворення шару вторинного периклазу [6], який запобігає проникненню шлаку у вогнетрив.

Руйнівний вплив (FeO) шлаку також може бути зменшений при введенні у склад вогнетриву nano-порошків Y_2O_3 . У складі вогнетриву вони обмежують швидкість окислення периклазовуглецевих вогнетривів, при чому цей ефект є більш вираженим при $1600^\circ C$, ніж при $1400^\circ C$. Це пояснюється тим, що nano-порошки Y_2O_3 у складі вогнетриву зменшують пористість і підвищують щільність окисленого шару за умови непрямого окислення вуглецю. Щільний окислений шар перешкоджає дифузії кисню всередину та захищає вогнетриви від окислення. Крім того, додавання nano-порошку Y_2O_3 збільшує насипну густину та міцність вогнетриву при холодному пресуванні [7].

Також експлуатація футерівки конвертерів визначається складом шихти. Для забезпечення високої стійкості необхідно здійснювати плавки без перегріву, використовувати чавун заданого хімічного складу, що обумовлює найменшу тривалість процесу. Важливими факторами, що визначають термін служби конвертерів, є вміст оксидів заліза у шлаку, якість вапна й спосіб наведення шлаків. Усереднення та підготовка вихідних матеріалів, автоматизація металургійного процесу, поліпшують умови служби вогнетривів а, отже, підвищують їхню стійкість [7].

Окрім (FeO) шлаку шкідливий вплив на футерівку чинить також використання при виплавці сталі в конвертері висококремнистого чавуну, який, наприклад, отримують процесом COREX. Вміст кремнію в такому чавуні може досягати 0,6-1,5 %, а на перших плавках кампанії навіть 2-5%, що призводить до серйозного руйнування футеровки конвертера. Це пов'язано одразу з декількома факторами: зниження основності шлаку зменшує його в'язкість та збільшує концентрацію насичення (MgO) в

шлаку, що сприяє інтенсивнішому розчиненню футерівки в шлаку. Такий чавун доцільно переробляти дуплекс процесом, здійснюючи десиліконізацію в першому конвертері, а зневуглицьовування і дефосфорацію – в другому. Для зменшення шкідливого впливу на футерівку в першому конвертері необхідно підтримувати основність шлаку в межах 1,0-1,2, вміст (FeO) не має перевищувати 5%, а (MgO) знаходитись в межах 5-7% [8].

В футерівці конвертера можна виділити наступні зони, які зношуються з різною швидкістю (рис. 1.1): льотковий вузол; ділянки, що не змочуються шлаком на повалках конвертера; ділянки, які найбільше зношуються (під та над цапфами); зона, що омивається шлаками в процесі продувки (шлаковий пояс) [1].

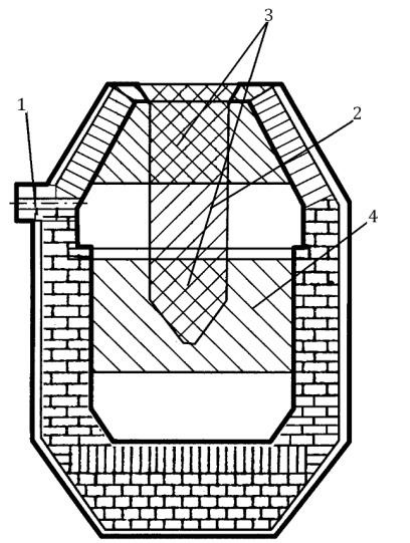


Рисунок 1.1 – Схема зносу різних зон футерівки кисневого конвертера:
1 – льотковий вузол; 2 – ділянки футерівки, що не змочуються шлаком на повалках конвертера; 3 – ділянки футерівки, які найбільше зношуються (під та над цапфами); 4 – зона футерівки, яка омивається шлаками у процесі продувки (шлаковий пояс)

Футерівка верхньої конічної частини конвертера руйнується не лише під впливом (FeO) шлаку, що виплескується з ванни конвертера під час

продувки, а й CO_2 , що міститься у конвертерному газі, і так само як і (FeO) шлаку здатен вступати в реакцію з вуглецем [9].

Льоткові вузли конвертерів зношуються в результаті ерозійно-корозійного впливу струменя розплаву, особливо, конвертерних шлаків. Відповідно до існуючих даних зношування вогнетривів у льоточному каналі інтенсивно зростає зі збільшенням всіх втрат напору струменю, які слід мінімізувати [10].

Нерівномірність руйнування футерівки конвертера може бути суттєво зменшена завдяки двом технічним заходам. Перший полягає у обертанні головки фурми після кожної її заміни на величину кута, що дорівнює половині кута між сусідніми соплами (наприклад, для п'яти соплової на 36°). Це змістить зону розмивання футерівки кисневими струменями і сприятиме більш рівномірному ї зношуванню. Друга рекомендація полягає у налаштуванні жолобу для присадки шлакоутворюючих матеріалів в конвертер таким чином, щоб матеріали сипалися не біля стін конвертера, а якомога ближче до його вертикальної осі [11].

1.2 Підвищення стійкості футерівки кисневих конвертерів

Стійкість футерівки сталеплавильних агрегатів є одним з основних техніко-економічних показників роботи конвертерного цеху. Тому розробка і впровадження таких методів підвищення її стійкості, як роздувка шлаку та торкретування є вкрай актуальними.

Режими роздуву шлаку доцільно досліджувати з використанням комп'ютерного та фізичного моделювання, оскільки це дозволяє доволі точно візуалізувати взаємодію газового струменя з шаром шлаку в конвертері та адгезію шлаку на поверхні футерівки конвертера. Так за результатами фізичного моделювання на прозорій моделі конвертера ємністю 340 т (у масштабі 1:10) компанії *Ternium Brasil* (м. Ріо де Жанейро,

Бразилія) авторами було встановлено, що розбризування шлаку покращується зі збільшенням інтенсивності продувки та висоти фурми над рівнем ванни. При чому регулюючи відстань фурми до поверхні ванни можна регулювати рівень футерівки, на який буде наноситися шлаковий гарнісаж. Також запропоновано використовувати для роздуву шлаку з тангенційно розташованими соплами, що додає додатковий обертальний момент шлаковій ванні [12-14].

Окрім зазначених вище параметрів найбільший вплив на ефективність роздуву шлаку має кількість шлаку в конвертері. Її збільшення також здатне суттєво збільшити ефективність розприскування шлаку на стінки конвертера, про що свідчать результати комп'ютерного моделювання проведеного на моделі конвертера ємністю 120 т [15].

За результатами фізичного моделювання на прозорій моделі конвертера ємністю 180 т сталеплавильного заводу №3 Ань-Шаньської сталє- і чавуноплавильної корпорації було встановлено, що оптимальна кількість шлаку для роздування складає 11%. Це, а також оптимальний кут нахилу сопел фурми 12° та оптимальні для цього конвертера висота фурми та інтенсивність продувки дозволили збільшити середню тривалість кампанії конвертера з 1472 до 8915 плавок [16].

Не менш важливими є і властивості шлаку, які переважно визначаються його хімічним складом. Важливо, щоб шлак містив правильне співвідношення легкоплавких і тугоплавких фаз. Фази з низькою температурою плавлення (з низьким вмістом FeO) забезпечують хорошу адгезію між шлаком і вогнетривом, тоді як фази з високою температурою плавлення забезпечують стійкість до ерозії та тепловий бар'єр. Хороші властивості шлаку досягаються при вмісті FeO приблизно 12-14%. При цьому шлак має бути перенасиченим MgO (>8% MgO), щоб гарантувати, що шлак насичений MgO, а не CaO для утворення тугоплавкого MgO·Fe₂O₃, а не легкоплавких феритів кальцію. У разі отримання наприкінці плавки переокисленого шлаку з вмістом FeO > 20%

вміст MgO необхідно збільшувати понад 13%. Окрім цього вміст Al_2O_3 в шлаку має бути якомога меншим, а основність CaO/SiO_2 не має перевищувати 5 [17, 18]. Важливо також не дозволяти шлаку охолонути до відносно низької температури, оскільки за температур 1400-1500 °C в шлаку може бути присутня окрім рідкої ще й тверда фаза, що збільшує утворення та адгезію захисної плівки на вогнетривкій футеровці [18].

Доцільною є заміна насадки з водяним охолодженням на насадку з газовим охолодженням. Це призведе до регенерації тепла – нагріву газової суспензії за рахунок вихідного потоку газу, що значно збільшить швидкість газового потоку, а кінетична енергія вихідних потоків у порожнині конвертера збільшиться в 3,5 рази. Крім того, інтенсивність розбрикування також збільшиться, збільшуючи підйом бризок шлаку на більшу висоту [18].

Термодинамічними розрахунками доведена можливість використання замість азоту CO_2 , що отриманого конверсією з конвертерного газу. Можливість та доцільність використання цієї технології підтверджена в ході промислових експериментів [19].

Більше 15 років тому технологія нанесення шлакового гарнісажу шляхом продувки кінцевого шлаку азотними струменями була впроваджена в цикл плавки для підвищення стійкості футерівки кисневих конвертерів [20]. Завдяки прийомам ошлакування і локального торкретування периклазовуглецевої футерівки конвертерів її стійкість доведена на закордонних металургійних підприємствах до 10-23 тис. плавок [21,22].

Таких результатів у закордонній практиці домоглися за рахунок комплексного підходу до вирішення проблеми, коли поряд з ошлакуванням і локальним торкретуванням периклазовуглецевої футерівки були виведені на відповідний рівень операції, що забезпечують:

- попередню ковшову десульфуріацію чавуна, а на ряді підприємств комплексне рафінування розплаву з видаленням кремнію, сірки і фосфору;
- більш якісну підготовку металобрухту і шлакоутворюючих магнезійальних матеріалів;
- скорочення циклу плавки і виключення «додувок» за рахунок застосування фурми-зонда для динамічного контролю температури і хімічного складу розплаву;
- зниження температури металевого напівпродукту на випуску з конвертера з наступним проведенням коригувальних операцій у ковші-печі;
- контроль зносу товщини футерівки і шару нанесеного гарнісажного покриття на різних ділянках по ходу кампанії конвертера з використанням лазерних скануючих систем;
- якісну підготовку до експлуатації всіх допоміжних систем і устаткування – механічного приводу, систем охолодження опорних кілець і корпусу конвертера, кисневих фурм, систем відводу, очищення й утилізації конвертерного газу.

Сировинна база України не дозволяє повною мірою реалізувати перевагу гарнісажних технологій у продовженні робочої кампанії конвертерів, оскільки характеризується відсутністю високоякісної магнезитової сировини для виробництва периклазовуглецевих вогнетривів і дефіцитом магнезійальних шлакоутворюючих матеріалів для формування кінцевого шлаку з підвищеною концентрацією оксиду магнію (8÷14%). Виходом з цього становища є розробка інноваційної технології нанесення шлакового гарнісажу на периклазовуглецеву футерівку конвертера із застосуванням спеціальної гарнісажної фурми, що забезпечує сполучення операцій роздувки кінцевого шлаку і факельного торкретування футерівки з використанням дешевих торкрет-мас (на

основі відсіву доломітизованого вапна, обпаленого доломіту, сирих магнезіальних шлакоутворюючих матеріалів та ін.).

Перед початком досліджень у конвертерному цеху ПАТ "Арселорміттал Кривий Ріг", подовження стійкості футерівки 160-т агрегатів забезпечувалося формуванням в ході продувки збагаченого оксидом магнію шлаку, що після випуску металу з конвертера через штатну 5-ти соплову кисневу фурму роздувався азотними струменями з витратою азоту $380 \div 430 \text{ м}^3/\text{хв.}$ з метою нанесення шлакового гарнісажу на футерівку. Додатково гарячий ремонт футерівки конвертерів здійснювався за допомогою вертикальної водоохолоджуваної обертової торкрет-фурми, що забезпечує факельне нанесення на стіни конвертера торкрет-покриття в результаті подачі в потоці повітря ($60 \text{ м}^3/\text{хв.}$) через десять бічних сопел типу «труба в трубі» магнезитосланцевої торкрет-маси ($500 \text{ кг}/\text{хв.}$) у кільцевій оболонці кисню ($200 \text{ м}^3/\text{хв.}$).

Поряд з позитивними сторонами, застосовувана технологія подовження робочої кампанії кисневих конвертерів шляхом нанесення шлакового гарнісажу і факельного торкретування футерівки мала низку істотних недоліків. Так, збільшення вмісту MgO в шлаку до $8 \div 14\%$ по ходу операції за рахунок присадки додаткових магнезіальних шлакоутворюючих матеріалів, супроводжується погіршенням ходу продувки і властивостей рафінуючого шлаку. Це, особливо за вмісту в шлаку більше $8\% \text{ MgO}$, негативно позначається на десульфурації і дефосфорації розплаву, сприяє розвитку «згортання шлаку», що призводить до інтенсифікації виносу дрібних крапель металу, заметалюванню кисневої фурми і горловини конвертера. Зняття шлакометалевих настилів з фурми і горловини конвертера звичайно супроводжується зниженням стійкості кисневих фурм і прискоренням руйнування футерівки конічної частини агрегату, що зрештою призводить до зниження продуктивності агрегатів і виходу придатної сталі.

При факельному торкретуванні футерівки використовується дорога магнезитосланцева торкрет-маса. Сама операція факельного торкретування здійснюється після нанесення шлакового гарнісажу, що призводить до збільшення тривалості плавки і зниженню продуктивності конвертерних агрегатів. Істотні ускладнення виникають при виготовленні й обслуговуванні застосовуваної конструкції обертової торкрет-фурми, що виражається в частому порушенні герметичності чепцевих ущільнень, течі води для охолодження з фурми з потраплянням у конвертер [23-25].

З огляду на дорожнечу і складність проведення виробничих експериментів по перевірці нових варіантів технології нанесення шлакового гарнісажу і факельного торкретування футерівки конвертера спочатку в лабораторних умовах були проведені експерименти з використанням техніки холодного моделювання [26].

На підставі отриманих даних холодного моделювання відповідно до умов роботи киснево-конвертерного цеху ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг» було запропоновано [23-25]:

- сполучити в часі операції ошлакування і факельного торкретування футерівки 160-т конвертерів шляхом використання спеціальної обертової вертикальної торкрет-фурми;
- спростити конструкцію торкрет-фурми за рахунок реалізації газового охолодження наконечника останньої, замість прийнятого охолодження за допомогою води.

У випадку одночасного роздуву шлаку і факельного торкретування після попереднього ошлакування футерівки конвертера в процесі обертання торкрет-фурми магнезито-сланцева торкрет-маса в потоці повітря (з витратою $60\div 80$ м³/хв.) подається внутрішньою трубою у бічні циліндричні сопла, що призводить до формування торкрет-факелів. При цьому в торкрет-факелі відбувається підігрів вогнетривкої складової торкрет-маси з подальшим її вдуванням («запресовуванням») у шлаковий шар, попередньо нанесений на стіни конвертера.

Застосування комбінованої торкрет-фурми сприяло зниженню інтенсивності заметалювання кисневої фурми, що виразилося в скороченні кількості операцій обрізки настилів з кисневої фурми з 2÷3 у зміну до 1÷2. За рахунок зменшення в шлакометалевій настилі на стволі фурми вмісту шлаку обрізка настилі за допомогою кисневої трубки полегшилася зі скороченням тривалості операції на 10 хв. Незважаючи на те, що операції з видалення настилів зі ствола кисневої фурми сполучаються з очікуванням на результат експрес-аналізу чи випуском металу з конвертера, застосування комбінованої торкрет-фурми для роздуву шлаку дозволило скоротити поточні простоя конвертера і значно полегшити працю сталеварів.

Кількість кисневих фурм, виведених з ладу (через ушкодження зовнішньої труби) при обрізі настилів знизилася в 2,1 рази. У період промислової експлуатації (2007-2008 р.) комбінованих торкрет-фурм досягнуте істотне скорочення числа виходу з ладу кисневих продувних фурм через ушкодження при обрізанні настилів. Так, у середньому по киснево-конвертерному цеху в 2005 р. цей показник склав 40,72%, у 2006 р. – 44,03%, скоротившись до 30,81% у 2007 р.

Усього за час, що пройшов з моменту впровадження нової конструкції комбінованої торкрет-фурми і технології гарячого ремонту футерівки конвертера з її використанням, у період із січня 2007 р. по січень 2009 р. зі сполученням операцій ошлакування футерівки і торкретування проведено понад 15000 операцій спільного роздуву шлаку і факельного торкретування футерівки з питомою витратою торкрет-маси в середньому 1,11 кг/т сталі. При цьому значне скорочення середньої витрати торкрет-маси на операцію в порівнянні з діючою технологією факельного торкретування, що передбачає середню витрату в кількості 2 т торкрет-маси на операцію, було обумовлено зміною механізму нанесення торкрет-покриття на футерівку конвертера.

Тривалість одночасної операції ошлакування і торкретування футерівки знаходиться в межах 3÷5 хв., що менше часу затраченого на гарячий ремонт футерівки (8÷10 хв.) у випадку проведення роздільних послідовних операцій нанесення шлакового гарнісажу і факельного торкретування.

Збільшення кількості операцій факельного торкретування футерівки конвертерів з 11÷30% (у середньому 18,6%) від проведених плавок до 18÷51% (у середньому 34,6%) у свою чергу призвело до зниження інтенсивності зносу футерівки. Питома інтенсивність зносу при використанні прийнятої технології факельного торкретування за підсумками кампаній 2006 р. складала 0,3÷0,8 мм/плавку (у середньому 0,55 мм/плавку). З переходом на технологію спільного ошлакування і торкретування інтенсивність зносу зменшилася до 0,20÷0,55 мм/плавку (у середньому 0,38 мм/плавку). Такі показники свідчать на користь поліпшення якісних характеристик гарнісажного покриття, сформованого за допомогою комбінованих торкрет-фурм.

Закономірним є й отриманий результат підвищення стійкості футерівки зі збільшенням питомої витрати торкрет-маси. За підсумками кампаній 2007-2008 р. питомі витрати торкрет-маси знизилися з 2,38 кг/т сталі до 0,92 кг/т сталі (68%). У вартісному вираженні питомі витрати на торкрет-масу скоротилися у середньому на 54%.

За підсумками дворічного промислового періоду експлуатації нова технологія і конструкція торкрет-фурми дозволили забезпечити підвищення стійкості футерівки у середньому на 750 плавок при середній стійкості в 2006-2007 р. в умовах застосування штатної торкрет-фурми для факельного торкретування – 2275 плавок. Була досягнута максимальна стійкість футерівки конвертера в 3644 плавки.

Це дозволило збільшити випуск сталі в середньому на 103,0 тис. т/конвертер за кампанію по футерівці (з 209,0÷467,0 тис. т сталі

в 2007 р. до 342,0÷540,0 тис. т сталі/конвертер у 2008 р. за кампанію по футерівці).

Відповідно до виконаних розрахунків, зі збільшенням питомої кількості операцій спільного торкретування й ошлакування футерівки до 90% усіх плавок за інших незмінних показників можлива стабілізація показника стійкості футерівки на рівні 3900÷4100 плавок при питомих витратах на торкрет-масу складових (у цінах 2008 р.) менш 0,03% від вартості виплавленої сталі.

Надалі на основі чисельних розрахунків запропонували використовувати більш дешеву торкрет-масу на основі необпаленого доломіту і сланцю, що у даний час без ускладнень застосовується для горячого ремонту футерівки всіх 6-ти 160-т конвертерів ПАТ "Арселор-Міттал Кривий Ріг" з використанням розробленої конструкції комбінованої торкрет-фурми.

При цьому стійкість нанесеного з використанням доломітосланцевої торкрет-маси гарнісажу не поступається за якісними показниками покриттям, отриманим при застосуванні дорожчої магнезитосланцевої торкрет-маси.

Важливою умовою стабілізації динаміки фаз і дутьового режиму конвертерної плавки є забезпечення симетричності робочого простору кисневого конвертера незалежно від періоду кампанії агрегату по футеровці [27]. Як встановлено дослідженнями топографії зносу футеровки по ходу кампанії 250 конвертерів конвертерного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат» [28], ускладнення у формуванні рівномірного по товщині шару захисного шлакового гарнісажу і, відповідно, неможливість підтримки симетрії робочого простору в зонах 1, розташованих в циліндричній частині агрегату між цапфеними зонами і зонами випуску розплаву і завантаження, на меридіанах 50, 150, 215 і 310°.

Висновки по розділу

Проведено аналітичний огляд умов експлуатації вогнетривкої футерівки кисневих конвертерів та технологій спрямованих на підвищення тривалості кампанії конвертера по футерівці. Встановлені основні технологічні фактори, які впливають на руйнування вогнетривкої футерівки кисневих конвертерів, а також проаналізовані етапи руйнування вогнетриву шлаком.

Встановлено, що однією з найперспективніших технологій підвищення стійкості футерівки кисневих конвертерів є нанесення на її поверхню шлакового гарнісажу. Тому проведення досліджень з метою визначення впливу параметрів роздування шлаку в кисневих конвертерах на тривалість кампанії конвертера задля оцінки її ефективності в умовах ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ" є актуальною задачею.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

Поліпшення умов праці вимагає і поліпшення якості контролю за дотриманням діючих норм з техніки безпеки. У нормах, інструкціях, стандартних та інших документах, затверджених у встановленому законом порядку, є вимоги по техніці безпеки, що підлягають виконанню в процесі експлуатації споруд, пристроїв, машин і устаткування.

Дана дипломна робота присвячена дослідженням впливу процесу роздуву шлаку в кисневих конвертерах на тривалість кампанії конвертера. Тому в даному розділі розглянуті основні шкідливі і небезпечні фактори у конвертерному цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», а також розроблені заходи щодо їх усунення. Виконані розрахунки сумарного рівня шуму, а також узагальнені питання пожежної профілактики.

3.1 Загальна характеристика умов праці

Основними напрямками, що визначають і характеризують санітарно-гігієнічне та естетичне середовище конверторних цехів є: температурно-вологісний режим, запиленість та загазованість робочої зони, освітлення робочих місць, рівні шуму та вібрації, санітарно-побутового, культурного обслуговування, ергономічної та наукової організації робочого місця, розміри площі та об'єму виробничих приміщень на одного працюючого, режими праці та відпочинку, естетичне оформлення цеху та прилеглої території.

Усереднені показники результатів дослідження умов праці на дільницях конверторних цехів наведені в таблиці 3.1.

Як видно з таблиці, фактичні показники різноманітних шкідливих факторів перевищують нормативні, тому умови праці у конвертерних цехах є важкими та шкідливими.

Таблиця 3.1 – Карта умов праці робітників конверторного цеху на різних ділянках

Дільниці (служби)	Запиленість, мг/м ³		Загазованість, (СО), мг/м ³		Шум, дБА		Теплові випромінювання, $\cdot 10^2$, Вт/м ²		Температура повітря, К	
	факт	ГДК	факт	ГДК	факт	ГДР	факт	ГДР	факт	норм
Міксерне відділення	20	4	3,1	20	84	70	27	1,4	309	301
Шихтовий двір	32	4	9,7	20	77	70	1,6	1,4	311	301
Конверторне відділення	24	4	28	20	79	70	12,1	1,4	336	301
Газоочистка	4,2	4	2,9	20	81	70	1,45	1,4	307	301
Дільниця прийомки продукції	2,8	4	2,4	20	72	70	1,38	1,4	302	301
Дільниця ремонту ковшів	2,9	4	1,4	20	71	70	1,24	1,4	305	301
Підготовче відділення	11,2	4	2,6	20	73	70	0,84	1,4	301	301

Шкідливим фактором у цеху є виділення теплоти, джерелом якої є рідка сталь та устаткування. Відповідно до нормативу ГОСТ 12.1.005-88 [30] теплове опромінення робітників не повинне перевищувати 140 Вт/м². Інтенсивність теплоопромінення на ділянках конверторного цеху може знаходитись в значних межах – від 300 до 9000 Вт/м². Фактичне тепловиділення досягає інколи 800 і більш кДж/годину на 1 м³ приміщення, що створює важкі умови для теплообміну людини з довкіллям. Віддача тепла, що безперервно здійснюється організмом, відбувається за нормальних метеорологічних умов в основному через шкіру трьома шляхами: конвекцією (близько 30%), випромінюванням (близько 45%) і випаровуванням (близько 25%). В результаті перевищення теплоприходу над тепловіддачею у робітників може статися порушення теплового балансу. При цьому підвищується температура тіла до 40°C; при сильному перегріванні може статися тепловий удар. Внаслідок великих втрат води організмом порушується водно-сольовий обмін. Надлишок тепла викликає у працівники

підвищене потовиділення, що призводить до збіднення тканин і крові рідиною і солями, а також до порушень серцево-судинної та нервової діяльності.

Продуктивність праці робітників знаходиться у прямій залежності від оточуючих умов і може знижуватися через погану освітленість (на 20%), перевищення допустимого рівня шуму (на 15-20%) та інше.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Робота в цеху відноситься до IV-б категорії зорового навантаження згідно з ДБН В.2.5-28-2018 [31]. Нормативна освітленість становить 200 лк, фактична часто не відповідає нормативній.

При виконанні технологічних операцій виникає шум механічного, аеродинамічного і термічного походження, що вимагає забезпечення захисту персоналу. Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [32] гранично допустимий рівень шуму у виробничих приміщеннях на постійних робочих місцях повинен не перевищувати 80 дБ, для операторів постів управління 65 дБ. При чому на робочому місці розливальника рівень шуму досягає 90-92 дБ, що не відповідає нормативним вимогам. Для захисту органів слуху працівники повинні використовувати ЗІЗ, наприклад, навушники типу «біруші».

Для зменшення впливу шуму необхідно: раціональне розміщення технологічного устаткування і робочих місць, створення шумозахисної зони, застосування засобів індивідуального захисту.

Вихідні дані:

- рівень шуму на крані – 85 дБ;
- рівень шуму на бункері – 92 дБ.

При спільній дії 2-х джерел з різними рівнями шуму, сумарний рівень

шуму знаходиться за формулою:

$$L = L + D, \text{ дБ}$$

де L - рівень шуму на більш гучному агрегаті;

д - добавка, розраховуємо з наступної формули:

$$D=101g[1+ 10^{-0.1(L1-L2)}]$$

$$D=101g[1+10^{-0.1(92-85)}] = 0,8 \text{ дБ};$$

звідки: L.r= L1 + D = 92 + 0,8 = 92,8 дБ;

Сумарний рівень шуму від 2-х агрегатів складе 92,8 дБ.

У цеху існує небезпека ураження електричним струмом. Ділянка за ПУЕ [33] відноситься до особливо небезпечних, так як присутні струмопровідні підлоги, пил оксидів заліза, висока температура. Причинами поразок електричним струмом можуть бути дотик до струмоведучих частин, ізоляція яких пошкоджена, зіткнення з відкритими струмоведучими частинами і проводами, торкання струмоведучих частин через предмети з низьким опором ізоляції та інше.

Також на ділянці присутня небезпека травмування робітників при експлуатації рухомих механізмів.

Таким чином, джерелами небезпеки у конвертерному цеху є розплавлені метали і шлак; високотемпературні і горючі гази, що викликають опіки; значні вантажопотоки, які призводять до травм і ударів; наявність вибухонебезпечних засобів; перевищення ГДК на робочих місцях шкідливих для здоров'я викидів, що викликають як гострі, так і хронічні захворювання; інше.

Внаслідок невідповідних нормам умов праці у робітників конверторного цеху спостерігаються випадки виробничого травматизму, професійні захворювання, порушення стану здоров'я, трапляються випадки часткової або повної втрати працездатності. Невросклероз, кардіосклероз, ішемічна хвороба серця фіксуються у робітників цеху. Аналіз умов праці і захворюваності робітників конверторних цехів показав наступне:

- 45-48% робітників систематично страждають від перегрівів, хворіють гострими респіраторними та іншими застудними захворюваннями, бронхітами, кишково-шлунковими захворюваннями та іншими, що є наслідком впливу високих температур та інфрачервоного випромінювання;

- 12,3% робітників постійно хворіють захворюваннями крові, які викликані шкідливим впливом пилу;

- 9% робітників знаходяться на лікарняних через захворювання бронхітами, трахеїтами, різними хворобами очей, що є наслідком низької відносної вологості і підвищеної запиленості повітря робочої зони.

3.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика

У кожному конвертерному цеху існують правила техніки безпеки, які обов'язкові для всіх працюючих. Щойно прийняті на роботу проходять інструктаж з безпечного виконання роботи, контролюються по їх дотриманню безпосередньо начальником. Знання правил техніки безпеки регулярно перевіряються, про це робиться відповідний запис. Порушення правил техніки безпеки фіксується, а порушник проходить повторний інструктаж, може понести адміністративне стягнення, пониження у посаді, звільнення з роботи [1].

Щодо виробничого травматизму, то перше місце серед постраждалих працівників займають конверторники. Окрім того, вони більше хворіють неврозами і кількість захворювань органів дихання зазвичай вища, ніж середня по підприємству. Це є наслідком порушення водно-солевого балансу в організмі працівників, незадовільної промислової санітарії та гігієни праці, низької якості питної води, відсутності збалансованого та раціонального харчування і питного режиму. Всі ці перераховані виробничі чинники призводять до зменшення працездатності, викликають втому, знижують увагу

працівників. Тому кількість нещасних випадків та аварій постійно зростає. А наслідком є травмування робітників, руйнування обладнання.

Проведені дослідження показали, що при розробці захисних та профілактичних заходів і засобів у конверторних цехах цю проблему необхідно вирішувати в комплексі, тобто захищати працівників від впливу всіх виявлених шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

Наведемо деякі заходи з техніки безпеки у конвертерному цеху.

Згідно правил техніки безпеки робітникам забороняється знаходитися біля конвертера під час його продувки. Також забороняється проводити продувку, якщо з фурми чи газоходу протікає вода і під конвертером є волога. При обриві охолоджувача з горловини конвертера слід бути від нього на відстані не менше 10 метрів. Прибирати під конвертером можна лише після його зупинки. Шлакова чаша може наповнюватись до рівня, на 150 – 200 мм нижче верхнього її краю. Осаджувати шлак у шлаковій чаші чи в ковші можна тільки сухими матеріалами. При протіканні рідкого металу і шлаку через футеровку конвертор зупиняється, а течія усувається. При ремонті конвертера не можна заливати залишки футеровки водою. Під час видалення залишків футеровки не можна знаходитись біля машини та під конвертером. Повертати конвертер можна тільки за командою керуючого ремонтом. Під час розігріву футеровка повинна бути ретельно просушена.

Для запобігання електротравматизму необхідно застосовувати такі заходи і засоби захисту:

1. Внутрішньоцехові електричні ланцюги виконують з ізольованих проводів і кабелів.
2. Струмоведачі частини агрегатів закривають кожухами, використовують захисні огороження.

3. Використовують блокування, що вимикають напругу при відкритих дверях трансформаторного приміщення.

4. Захисні заземлення встановлюються в пультах управління агрегатами.

5. Захисні занулення встановлюються в стінових прорізах, недоступних для персоналу.

Технологічному персоналу забороняється перебувати в електроприміщеннях, відкривати електрошкафи і торкатися оголених проводів. Працівник, який експлуатує побутові прилади, повинен мати 1 групу з електробезпеки. Не слід застосовувати побутові прилади в особливо небезпечних приміщеннях.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [34] по вибуховій, вибухопожежній і пожежній небезпеці до категорії А відноситься конвертер, а також розливний проліт. До категорії Б відноситься система газоочищення конвертерного газу, міксерне відділення і завантажувальний проліт. До категорії Г відноситься відділення підготовки шихти.

Виробничі приміщення конвертерних цехів побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій і залізобетон) і згідно ДБН В.1.1-7:2016 [35] мають 2 ступінь вогнестійкості.

Пожежі в приміщенні можуть виникнути в результаті:

- загоряння електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях (клас пожежі – Е);
- тверді речовини які плавляться та горять як рідини (клас пожежі - В).

Класи можливих пожеж:

- пожежі першого класу - пожежі звичайних горючих матеріалів при горінні яких утворюється тліюча зола;
- пожежі третього класу - пожежі горючих газів;
- пожежі четвертого класу - пожежі електричного обладнання;
- пожежі п'ятого класу - пожежі металів.

Джерелом спалаху може бути тепло хімічних реакцій, полум'я печей, відкритий вогонь при проведенні ремонтних робіт, тепло нагрітих мас металу і шлаку, електричні іскри, зіткнення металу з водою, несправність або перегрів електромереж та електрообладнання, прогар футерування сталерозливного ковшу, протікання металу між плитами шибєрного затвору. Особливо небезпечною зоною є зона транспортування рідкого металу, так як можливі сплески металу, і як наслідок, виникнення пожежі.

Усі виробничі та допоміжні будівлі, споруди і склади сталеплавильних цехів повинні відповідати вимогам НАПБ А.01.001-2014 [36] і бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Кількість останніх повинна відповідати нормам первинних засобів пожежогасіння для підприємств і організацій чорної металургії.

3.3 Захист навколишнього середовища

У конверторному и завантажувальному прольотах, основне джерело шкідливостей, що викидаються у повітря, є неорганізовані викиди (пил, тепло і гази, що містять окис вуглецю та сірчастий газ). Вони виділяються з горловини конвертора при заливці чавуну, завантаженні лому і в окремі моменти продування через зазор між горловиною і вхідною частиною тракту, що відводить газ. Пил, тепло, окисли вуглецю і азоту, шкідливі пари – при випуску сталі в ківш. Пил – при ремонтах конвертора. Тепло, окисли вуглецю і азоту – при розігріванні конвертора після ремонту і від печей для прожарювання феросплавів.

У конверторному і завантажувальному прольотах передбачається природна аерація за допомогою аераційних ліхтарів і припливна вентиляція окремих ділянок. При відборі проб і вимірах температури через горловину конвертера застосовують спеціальні візки з

теплозахисними екранами і обдув, спеціально встановленими вентиляторами.

Систему подачі і завантаження сипких матеріалів в конвертор зазвичай виконують з герметизацією місць, що піддаються пилу, відсмоктуванням і очищенням газів від пилу. У ковшовому прольоті виділяється пил (при ломці футерування), тепло і оксиди азоту при розігріванні ковшів. У прольоті передбачають природну аерацію і установку витяжних зонтів над стендами для розігрівання ковшів і ломки футерування.

У міксерному і переливному відділеннях при зливі чавуну виділяються тепло і графітовий пил. Над місцями зливу встановлюють зонти систем вловлювання газів і їх очищення від пилу. Гази, що виділяються з міксера, також містять багато графіту, для його вловлювання встановлюють відсмоктувач у щілинні горловини міксера (графіт, що вловлюється, є цінною сировиною).

Проблема вловлювання неорганізованих викидів у конвертерних цехах доки не вирішена; розробляються проекти спеціального кожуха довкола конвертера, який дозволив би вловлювати неорганізовані викиди як при завантаженні конвертера, так і при випуску продуктів плавки [37].

ВИСНОВКИ

Роздув шлаку в кисневому конвертері є ефективною технологією для подовження терміну експлуатації вогнетривкої футерівки кисневих конвертерів. Аналітичний огляд вітчизняних і закордонних робіт вказує на перспективність дослідження і впровадження у виробництво даної технології.

За отриманими актами експлуатації вогнетривкої футерівки трьох кампаній конвертерів було проаналізовано вплив технологічних параметрів киснево-конвертерної плавки та заходів з обслуговування футерівки на її стійкість. Зокрема встановлено, що найістотніший вплив на стійкість футерівки мають хімічний склад шлаку, зокрема його основність, додувки плавки на температуру, ритмічність роботи конвертера та нанесення шлакового гарнісажу на футерівку шляхом роздування шлаку. Ґрунтуючись на проведеному аналізі було розроблено рекомендації, які дозволять підвищити стійкість футерівки щонайменше до тис. плавок.

Річний економічний ефект від запровадження запропонованих заходів складає млн. грн. При цьому річна продуктивність конвертера збільшується майже вдвічі з до млн. т сталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі : теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник. – Дніпропетровськ: РВА“Дніпро-ВАЛ”, 2006. – 456с.
2. Effects of Particle Size Distribution of MgO and Carbon on MgO–C Reaction Behaviour / Yuta Hino, Katsunori Takahashi // ISIJ International. – 2022. – Vol. 62, no. 9. – P. 1836–1844. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-072> (дата доступу: 19.12.2023).
3. Бойченко Б.М. Разработка теоретических основ, создание и внедрение ресурсо- и энергосберегающей технологии кислородно-конвертерного производства стали / Дисс. на соискание учёной степени доктора техн. наук. – Днепропетровск.: – 1989. – 516 с.
4. Two challenges to system of periclase quality evolution / L.M. Akselrod, I.G. Maryasev, A.A. Platonov, D.R. Melnikova // METEC & ESTAD 2015, Dusseldorf, Germany, June 2015.
5. О возможности повышения стойкости футеровки сталеплавильных агрегатов / А.Н. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, Е.В. Синегин // Матеріали конференції «Металургія. 2019». – С. 322-323.
6. Пищида В.И., Бойченко Б.М., Величко А.Г., Тарнавский М.С. О механизме износа периклазоуглеродистых огнеупоров в конвертере / Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – №8. – С. 98-101.
7. Improvements in the mechanical properties and oxidation resistance of MgO-C refractories with the addition of nano-Y₂O₃ powder / Zh. Liu, L. Yuan, J. Yu // Advances in Applied Ceramics. – 2019. – P. 1–8. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/17436753.2018.1564414> (дата доступу: 19.12.2023).

8. Corrosion mechanism and protection of BOF refractory for high silicon hot metal steelmaking process / Y. Dai, J. Li, W. Yan, C. Shi // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – P. 1–17. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.055> (дата доступа: 19.12.2023).
9. Wear and Dissolution of MgO–C Refractory Lining in Belly and Top Cone Regions of BOF Vessel / B. Deo // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2016. – P. 1–27. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/app132212473> (дата доступа: 19.12.2023).
10. Пицида В.И., Бойченко Б.М., Кравец С.Н., Тарнавский М.С. Об износе сталевыпускных узлов конвертеров / V Miedzunarodowa Sesja Naukowa. – Seria Metalurgia. – Czestochowa. – 2004. – № 32. – S. 28-33.
11. Evaluation of Factors Affecting the MgO–C Refractory Lining Degradation in a Basic Oxygen Furnace / J. Demeter, B. Bul'ko, P. Demeter, M. Hrubovc̣áková // Applied Sciences. – 2023. – no. 13. – P. 1–27. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/app132212473> (дата доступа: 19.12.2023).
12. Slag Splashing — Cold Model Comparisons and Equations for Industry Setup / B.T. Maia, W.R. Lima, J.P.M. Santos, B.M. Braga, L. Rocha, J.R. de Oliveira, V. Sinelnikov // AISTech 2023 : Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference, 8–11 May 2023, Detroit, Mich., USA. – 2023. – P. 845–861. – Режим доступа: <https://doi.org/10.33313/387/094> (дата доступа: 19.12.2023).
13. Slag Splashing: Blow Parameters Equationing / I.A.S. Santos, A.L. da Silva, V.R. de M. Santos, [et al] // AISTech 2019 : Proceedings of the Iron & Steel Technology Conference, 6–9 May 2019, Pittsburgh, Pa. USA. – 2019. – P. 913–922. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1000.377.095> (дата доступа: 19.12.2023).
14. Slag Splashing : New Vision using Blow Parameters Equationing / I.A.S. Santos, V.R. de M. Santos, R. Teodoro [et al] // Journal of Materials Research and Technology. – 2019. – P. 1–8. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.011> (дата доступа: 19.12.2023).

15. Numerical Simulation of the Slag Splashing Process in a 120 Ton Top-Blown Converter / G. Yang, B. Li, M. Sun, D. Qin, L. Zhong // *Metals*. – 2023. – Vol. 940. – No. 13. – P. 1–20. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/met13050940> (дата доступу: 19.12.2023).
16. Physical modelling of slag splashing in converter / C.-J. Liu, Y.-X. Zhu and M.-F. Jiang // *Ironmaking and Steelmaking*. – 2003. – Vol. 30. – No. 1. – P. 36–42. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1179/030192303225009489> (дата доступу: 19.12.2023).
17. A Review of Slag Splashing / K.C. MILLS, Y. SU, A.B. FOX [et. al] // *ISIJ International*. – 2005. – Vol. 45, no. 5. – P. 619–633.
18. Influence the FeO Content on Slag Viscosity at his Spraying. Increase the Life of the Refractory Lining / V.O. Sinelnikov, D. Kalisz // *Glass and Ceramics*. – 2016. – Vol. 73, no. 3-4. – P. 144–148. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10717-016-9844-5> (дата доступу: 19.12.2023).
19. A Novel Method of Recycling CO₂ for Slag Splashing in Converter / H. Zhao, Zh. Yuan, W. Wang, Y. Pan, S. Li // *Journal of Iron and Steel Research International*. – 2010. – Vol. 17. – No. 12. – P. 11–16.
20. Разработка и внедрение инновационной технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку 160-т конвертеров ОАО«АрселорМиттал Кривой Рог» / А.Г. Чернятевич, В.А. Шеремет, Е.Н. Сигарев и др.– Теория и практика металлургии.– 2008.– №2.– С. 58-63.
21. Sian C., Wenyan Y., Congile Z. Slag splashing for BAO Steel’s 300 metric ton BOF and Crystallographic structure of its slag // *Iron and Steelmaker*. – 2000.– №7.– P. 39-41.
22. Messina C.J. Slag splashing in the BOF – Worldwide status, practices and results // *Iron and Steel Engineer*. – 1996. – №5. – P. 17-19.
23. Чернятевич А.Г., Сигарьов Є.М., Чубін К.І., Чубіна О.А. Торкрет-фурма для ремонту футерівки конвертера / Деклараційний патент України на корисну модель. № 26280, С21С5/48 Бюл. №14, 2007 р.

24. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Чубіна О.А. / Спосіб ремонту футерівки конвертера / Деклараційний патент України на корисну модель. № 25657, С21С5/44 Бюл. №12, 2007 р.
25. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М. Чернятевич І.В., Чубін К.І., Чубіна О.А. / Патент України на винахід. Спосіб ремонту футерівки конвертера та торкрет-фурма для його здійснення. №83445. С21С5/44. Бюл. №13. 2008 р.
26. Гидрогазодинамические особенности новых технологий нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера. / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарёв, Е.А.Чубина и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006.– №7.– С. 153-158.
27. Сигарев Е.Н., Недбайло Н.Н., Кащеев М.А., Байдуж Ю.В. Совершенствование конструкции гарнисажной фурмы и технологии восстановления профиля рабочего пространства конвертера // Метал та лиття України. – 2018. – № 9-10. – С. 23-30.
28. Сигарев Е.Н., Сигарев Н.К., Семенова Д.А., Байдуж Ю.В. Топографирование поверхности футеровки конвертера // Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету: (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2015. – Вип. 1 (26). – С. 19–24.
29. Выплавка конвертерной стали. Технологическая инструкция: ТИ-230-С320-12 /замість ТИ-230-С320-02; Затв. Тех. директор 31.07.2012; Термін дії з 31.07.2012 до 31.07.2017 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – Дніпродзержинськ, 2012.– 53 с.
30. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1988
31. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188
32. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999

33. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ-2009. – Х.: Форт, 2009.
34. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016.
35. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіон, 2017.
36. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. - К.: Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій, 2014
37. Перистый М.М., Кравченко А.В., Раджи О.И. Проблемы повышения экологической безопасности конвертерного производства. [Электронный ресурс] <http://masters.donntu.org/2006/fizmet/klutkina/library/article4.html>
38. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Конструкції технологічних агрегатів за фахом” для студентів напряму 6.050401 – металургія (спеціальність 136 – металургія) / Укл.: В.Г. Герасименко, Є.В. Синегін, О.М. Стоянов, Л.С. Молчанов, С.В. Журавльова. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2016. – 59 с.