

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

АВТОРЕФЕРАТ
кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня магістра

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

**на тему «Дослідження умов експлуатації вогнетривів кисневих
конвертерів і розробка диференційного футерування робочого
шару»**

Здобувач



Дмитро БОГДАН

Кам'янське 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі металургії, матеріалознавства та організації виробництва.

Керівник:



Стоянов Олександр Миколайович,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент

Захист відбудеться 24 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні екзаменаційної комісії (https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_ZThkNzg5NDEtNDNiZC00ZWVmLTk2NTAtNWQ1ZjU1ODM2NjAx%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 15 січня 2024 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Дослідження в галузі футерування спрямоване на вдосконалення матеріалів та технологій, що використовуються для захисту стінок конвертера дозволяє підвищити продуктивність та оптимізувати енерговитрати у сталеплавильному виробництві. На сьогодні спостерігається тенденція до збільшення терміну кампанії кисневих конверторів, тому питання що стосуються футерування конверторів є важливими в цьому контексті.

Постановка проблеми. Стійкість футеровки визначається стійкістю ділянок найбільшого зносу: футеровка циліндричної частини конвертера в районі шлакового поясу; футеровка горловини; зона льотки. Якість футерування разом з технологіями захисту та відновлення футерівки в процесі роботи кисневого конвертеру визначають швидкість зносу вогнетривів та термін кампанії. Тому важливим є дослідження умов експлуатації вогнетривів кисневих конвертерів і розробка диференційного футерування робочого шару для подовження терміну кампанії.

Мета дослідження. Удосконалити футерування кисневого конвертеру з урахуванням оцінки впливу основних технологічних параметрів плавки. Розробити диференційне футерування робочого шару конвертеру.

Задачі дослідження:

- проаналізувати вимоги до вогнетривких матеріалів які використовуються при футеруванні кисневих конверторів;
- проаналізувати схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки кисневих конверторів;
- визначити сучасні та перспективні напрямки розвитку футерування кисневих конверторів;
- визначити взаємозв'язки між параметрів конвертерної плавки та стійкістю вогнетривів в кисневому конвертері;
- розробити схему диференційного футерування робочого шару кисневого конвертеру.

Об'єкт дослідження – виробництво сталі в кисневому конвертері.

Предмет дослідження - футерування кисневого конвертеру.

Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності. Результати роботи можуть бути основою для комплексного підходу до підвищення терміну кампанії футерівки кисневого конвертера.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінок, робота містить 29 рисунків, 13 таблиць. Список використаних джерел складається з 39 джерел.

ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На основі аналітичного огляду літературних джерел визначено, що футерування є ключовим елементом кисневого конвертеру, спрямованим на захист його від високих температур, корозії та інших агресивних впливів. За час свого розвитку футерування кисневого конвертеру пройшло декілька етапів із впровадженням нових матеріалів та технологій, що дозволило підвищити стійкість футерування та продовжити термін його служби.

Розглянуті етапи проведення футерування кисневого конвертера, визначено вимоги до вогнетривких матеріалів, проаналізовано схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки кисневого конвертеру.

Визначені сучасні та перспективні напрямки розвитку футерування, а саме використання передових технологій, таких як наноматеріали, комп'ютерне моделювання, штучний інтелект, автоматизація та роботизація процесів, які дозволяють підвищити стійкість футерівки.

Проаналізовано вплив футерування на фізичні та хімічні властивості сталі, що важливо для забезпечення високої якості виробленої продукції.

За результатами аналітичного огляду встановлено, що на сьогодні спостерігається тенденція до збільшення терміну кампанії кисневих конверторів, тому питання що стосуються футерування конверторів є важливими в цьому контексті. Стійкість футеровки визначається стійкістю ділянок найбільшого зносу: футеровка циліндричної частини конвертера в районі шлакового поясу; футеровка горловини; зона льотки.

Проведено статистичне аналіз зміни основних технологічних параметрів плавки в різні періоди кампанії футерівки конвертеру. Для аналізу був використаний масив плавки сталі в різні періоди кампанії футерівки конвертеру – початок, середина та кінець кампанії. Вивчали залежність впливу стану футерівки на витрати шлакоутворюючих матеріалів, хімічний склад шлаку та сталі, температуру сталі на випуску та вихід придатної. Для отримання адекватних математичних моделей у кожному масиві даних було проведено відсіювання грубих та випадкових значень за допомогою методу 3 σ . Після цього проводилось усереднення показників та будувались залежності відібраних показників від стану футерівки.

Були випробувані кілька видів математичних залежностей (лінійна, квадратна, експонентна, поліноміальна). Обиралась та яка має найбільший коефіцієнт кореляції.

Для аналізу на основі проведеного літературного огляду були відібрані наступні показники, які впливають на стійкість футерівки конвертеру:

- склад чавуну;
- температура чавуну;
- витрата металобрухту;
- витрата вапна;
- кількість плавки з додувками;
- температура сталі на першій повальці;
- склад шлаку.

Були побудовані гістограми частотного розподілу цих показників при роботі кисневого конвертору в початковий, середній та кінцевий період кампанії футерівки

Розраховано, що середнє значення вмісту кремнію в чавуні мало низькі коливання з незначним падінням в середній період. Також в середній період вміст кремнію мав більшу частоту коливань. Значні коливання кремнію призводять до коливань теплового балансу плавки, які погіршують умови роботи футеровки конвертеру. Кремній переходячи в шлак у вигляді SiO_2 реагує з компонентами футерівки і пришвидшує її руйнування. Тому з точки зору стійкості футерівки доцільним є мінімальний вміст кремнію в чавуні та оксиду кремнію в інших шихтових матеріалах.

Встановлено, що в перший період кампанії частіше використовувалася менша частка лому. Збільшення витрати лому разом з відповідним зниженням частки чавуну ускладнює роботу футеровки - збільшує коливання температур та посилює механічний знос.

Визначено, що в початковий та середній період кампанії середня витрата кисню була на одному рівні. В кінцевий період середня витрата кисню підвищилась, що пов'язане як зі збільшенням витрати лому так і зі збільшенням теплових втрат через знос футерівки.

Встановлено, що в кінцевий період значно підвищилась кількість додувок. Це може бути пов'язано з необхідністю догрівання сталі через збільшення теплових втрат в наслідок зменшення товщини футерівки в кінцевому періоді кампанії. Для підвищення стійкості футерівки необхідно намагатися досягти зменшення числа додувок, які викликають додаткові коливання температури футерівки, а також призводять до підвищення окисленості металу та шлаку.

За допомогою математичної моделі, яка розраховує вихідні параметри конвертерної плавки, в тому числі і питому витрату футерівки, були досліджені вплив деяких технологічних параметрів плавки на швидкість зносу футерівки.

Встановлено, що високий вміст кремнію в чавуні є одним з факторів руйнування робочого шару футерівки. При окисленні великої кількості кремнію чавуну утворюється оксид кремнію, а також збільшується кількість самого шлаку. Тому зменшення вмісту кремнію в чавуні дозволить працювати з низьким виходом шлаку, що зменшить знос футерівки. Враховуючи, що основним компонентом периклазовуглецевих вогнетривких матеріалів є оксид магнію, перехід його в шлак за законом перерозподілу компонентів шлакової системи визначається масою шлаку. Оцінити кількість шлаку можна за кількістю вапна, що застосовується. Однак при збільшенні витрати вапна збільшується основність шлаку, що сприяє зниженню активності переходу основного оксиду MgO з футерівки у шлак. Тому загальний вплив витрати вапна має незначний ефект на витрату футерівки. Схожим чином впливає на знос футерівки і збільшення основності шлаку.

Розраховано, що збільшення питомої витрати футерівки через зростання температури, так як при цьому в більшій мірі відбувається розм'якшення вогнетривів. Також температура виступає як каталізатор хімічної реакції при взаємодії складових футерівки з компонентами шлаку, і при її підвищенні швидкість реакцій переходу MgO з футерівки у шлак зростає.

Проведено аналіз стану футерівки кисневого конвертера наприкінці кампанії. За результатами аналізу встановлено, що у цапфеній зоні відсутній робочий шар футерівки, залишився арматурний шар, який вкритий шлаковим гарнисажем і також робочий шар відсутній в зоні стику циліндра і днища зі сторони зливу сталі. На практиці найбільший знос футерівки відбувається в районі утворення шлакового поясу через протікають активних хімічних реакцій. Крім того, термін експлуатації футерування значно скорочується у місці падіння шматків шихти через механічний вплив під час завантаження, а також у горловині та льотці, де спостерігаються різкі термічні напруги.

Визначено, що для подовження періоду роботи футерівки конвертеру доцільно застосувати диференційне футерування – збільшену товщину робочого шару футерівки в місцях максимального зносу (цапфені зони та стик циліндру і днища зі сторони зливу сталі) та використовувати вогнетриви з різним вмістом вуглецю в різних зонах. Збільшуючи вміст вуглецевої зв'язки в переклазовуглецевих вогнетривах можна підвищити шлакостійкість, оскільки вуглець перешкоджає потраплянню шлакового розплаву у виріб, проте при цьому дещо знижується механічна міцність та стійкість в окисному середовищі. Тому в зонах, де основний знос відбувається за рахунок контакту вогнетривів зі шлаком, а саме район шлакового поясу, пропонується укладати периклазовуглецевими

вогнетривами з підвищеним вмістом вуглецю. В свою чергу, зона де знос відбувається за рахунок механічних ушкоджень при завантаженні твердих шихтових матеріалів рекомендується укласти вогнетривами з мінімальним вмістом вуглецю або без нього.

Розроблена схема диференційованого футерування конвертера з використанням периклазовуглецевих вогнетривів різних марок.

Розраховано економічний ефект від запровадження раціональних параметрів плавки. За рахунок зниження вмісту кремнію в чавуні можливим буде збільшити його витрати, що дозволить зменшити частку лому та необхідність його підігріву, який негативно впливає на стійкість футерівки. Також дещо знизиться витрата вапна при зниженні вмісту кремнію в чавуні.

Розглянуті питання охорони праці в конвертерному цеху. Проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори роботи. Розраховано освітлення робочої зони.

Розглянуті питання охорони навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху. Встановлено, що охорона навколишнього середовища для металургійних підприємств, є сьогодні складною проблемою.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналітичного огляду літературних джерел визначено, що футерування є ключовим елементом кисневого конвертеру, спрямованим на захист його від високих температур, корозії та інших агресивних впливів.
2. Розглянуті етапи проведення футерування кисневого конвертера, визначено вимоги до вогнетривких матеріалів, проаналізовано схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки кисневого конвертеру.
3. Визначені сучасні та перспективні напрямки розвитку футерування, а саме використання передових технологій, таких як наноматеріали, комп'ютерне моделювання, штучний інтелект, автоматизація та роботизація процесів, які дозволять підвищити стійкість футерівки.
4. Проаналізовано вплив футерування на фізичні та хімічні властивості сталі, що важливо для забезпечення високої якості виробленої продукції.
5. За результатами аналізу стану футерівки кисневого конвертера наприкінці кампанії встановлено, що у цапфенній зоні відсутній робочий шар футерівки, залишився арматурний шар, який вкритий шлаковим гарнисажем і також робочий шар відсутній в зоні стику циліндра і днища зі сторони зливу сталі.

6. Визначено, що для подовження періоду роботи футерівки конвертеру доцільно застосувати диференційне футерування – збільшену товщину робочого шару футеровки в місцях максимального зносу (цапфені зони та стик циліндру і днища зі сторони зливу сталі), а можливе встановлення в зонах максимального зносу більш стійких вогнетривів в робочому шарі. Такими вогнетривами можуть бути наприклад хромомagneзитові вогнетриви. Також для подовження терміну роботи футерівки конвертера за поточною схемою футерування доцільним є встановлення торкрет-установки, сумісної з інтерферометром для забезпечення рівномірного розміру футеровки, у зв'язку з тим, що існуюча торкрет-установка не забезпечує належний ухід для футеровки конвертера, а саме через конструкційні особливості неможливо виконати ремонт футеровки зі сторони холостої та приводної цапфи.
7. За результатами статистичного аналізу паспортів плавки та математичного моделювання встановлено, що важливим є дотримання технології плавки, тому що неритмічний графік виробництва, який призводить до збільшеної кількості тепломінів футерівки конвертера, зниження вмісту MgO в конвертерному шлаку в різних періодах кампанії, а також знижена питома витрата чавуну на деяких етапах кампанії призводять до більш швидкого зносу футеровки та передчасного завершення кампанії. Також негативним ефектом відзначається збільшення кількості шлаку та його текучості, підвищенні концентрації у шлаку оксиду кремнію та зростання температури продуктів плавки.
8. Проведено розрахунок економічної ефективності від застосування раціональних з точки зору подовження кампанії футерівки параметрів конвертерної плавки. Визначено що при збільшенні середньої витрати чавуну, зменшенні в ньому вмісту кремнію та зменшенні середньої температури продуктів плавки на повальці знизиться питома витрата футерівки з на одну тону сталі, що знизить собівартість сталі, та призведе до позитивного річного економічного ефекту для умов конвертерного цеху.
9. Розглянуті питання охорони праці в конвертерному цеху. Проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори роботи. Розраховано освітлення робочої зони. Розглянуті питання охорони навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Bohdan D.S., Malii Kh.V., Stoianov O.M. Theoretical aspects of the causes of the formation of a slag floor on the surface of the refresh. International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference proceedings (November 29-30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1.pp. 12-14. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-1>.

АНОТАЦІЯ

Богдан Дмитро Сергійович. Дослідження умов експлуатації вогнетривів кисневих конвертерів і розробка диференційного футерування робочого шару.

В роботі розглянуто особливості футерування кисневого конвертера, визначено вимоги до вогнетривких матеріалів, проаналізовано схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки. Визначено сучасні та перспективні напрямки розвитку футерування, такі як використання наноматеріалів, комп'ютерне моделювання, штучний інтелект, роботизація, які дозволяють підвищити стійкість футерівки.

Проведено статистичний аналіз паспортів плавки та математичне моделювання. Встановлено, що негативним ефектом відзначається збільшення кількості шлаку та його текучості, підвищенні концентрації у шлаку оксиду кремнію та зростання температури плавки.

За допомогою математичної моделі, яка розраховує вихідні параметри конвертерної плавки, в тому числі і питому витрату футерівки, були досліджені вплив деяких технологічних параметрів плавки на швидкість зносу футерівки.

Розглянуті питання охорони праці в конвертерному цеху. Проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори роботи. Розглянуті питання охорони навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху.

Проведено розрахунок економічної ефективності від застосування раціональних з точки зору подовження кампанії футерівки параметрів конвертерної плавки.

Ключові слова: КОНВЕРТЕР, ФУТЕРІВКА, КАМΠΑНІЯ, ДИФЕРЕНЦІЙНЕ ФУТЕРУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ

ABSTRACT

Bohdan Dmytro. Study of operating conditions of refractories of oxygen converters and development of differential lining of the working layer.

The paper examines the features of the lining of the oxygen converter, defines the requirements for refractory materials, analyzes the lining schemes and means of increasing the service life of the lining. Modern and promising directions for the development of lining, such as the use of nanomaterials, computer modeling, artificial intelligence, robotics, which will increase the durability of the lining, have been identified. Statistical analysis of swimsuit passports and mathematical modeling were carried out. It was established that the negative effect is an increase in the amount of slag and its fluidity, an increase in the concentration of silicon oxide in the slag, and an increase in the melting temperature. With the help of a mathematical model that calculates the initial parameters of converter melting, including the specific consumption of the lining, the influence of some technological parameters of melting on the wear rate of the lining was investigated. Considered issues of labor protection in the converter workshop. Harmful and dangerous work factors are analyzed. Considered issues of environmental protection in the conditions of the converter shop. The calculation of economic efficiency from the application of parameters of converter melting, which are rational from the point of view of prolonging the lining campaign, was carried out.

Key words: BOF, LINER, CAMPAIGN, DIFFERENTIAL LINER, MATHEMATICS SIMULATION, STATISTICAL ANALYSIS.