

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 впливу параметрів продувки сталі в  
конвертері на процеси дефосфорації і десульфурації сталі при  
виробництві напівспокійних марок сталі»**

Здобувач



Катерина МЕДВЕДЄВА

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](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» 22 січня 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** В кисневому конвертері шкідливі домішки в першу чергу такі як сірка і фосфор розподіляються між металом, шлаком та газовою фазою. Для успішного переходу шкідливих домішок у шлак найважливішою складовою технології конвертерної плавки є процес шлакоутворення, який визначає хід дефосфорації, десульфурації металу. Повільне шлакоутворення викликає перевитрату вапна, що не завжди забезпечується необхідну ступінь десульфурації і дефосфорації металу. У звичайних умовах плавки шлакоутворення часто проходить з недостатньою швидкістю, що призводить до неповного засвоєння вапна і затягування процесів видалення шкідливих домішок. Тому забезпечення необхідних умов для видалення шкідливих домішок є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Аналіз технологічних параметрів конвертерної плавки з точки зору впливу їх на процеси дефосфорації та десульфурації є актуальним завданням, яке дозволить для конкретних умов визначити технологічні параметри, що забезпечать низький вміст сірки та фосфору в готовому металі.

**Мета дослідження.** Визначення раціональних технологічних параметрів конвертерного процесу шляхом дослідження впливу параметрів продувки сталі на процеси дефосфорації і десульфурації сталі при виробництві напівспокійних марок сталі.

### **Задачі дослідження:**

- проаналізувати особливості процесів рафінування сталі в конверторі;
- провести статистичний аналіз даних роботи конвертора при використанні різних видів шихтових матеріалів;
- визначити взаємозв'язки впливу параметрів конвертерної плавки на процеси дефосфорації і десульфурації сталі;
- розробити пропозицій по покращенню умов видалення фосфору і сірки в конверторі.

**Об'єкт дослідження** – технологія виробництва сталі в кисневому конвертері.

**Предмет дослідження** – процеси десульфурації та дефосфорації в кисневому конвертері.

**Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності.** Визначено залежність ступеня десульфурації та дефосфорації від показників конвертерної плавки, що дозволить визначити раціональні параметри технологічного процесу.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок, робота містить 34 рисунків, 11 таблиць. Список використаних джерел складається з 33 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

За результатами аналітичного огляду літературних джерел визначено, що в кисневому конвертері шкідливі домішки в першу чергу такі як сірка і фосфор розподіляються між металом, шлаком та газовою фазою. Сірка є найшкідливішою домішкою, що знижує механічну міцність і зварюваність сталі, а також електротехнічні, антикорозійні та погіршує її інші характеристики. Хоч в конвертерній плавці сірка частково переходить в газову фазу, десульфурація сталі насамперед досягається переходом сірки в шлак. Окисні умови не є сприятливими, тому зазвичай ступінь десульфурації в кисневому конвертері значно нижче ніж в доменній печі. Видалення фосфору відбувається в більшій мірі, тому що окисні умови в кисневому конвертері сприяють дефосфорації і її ступінь може досягати понад високих значень. В обох процесах важливим є наявність вільного СаО в шлаку.

Проведено статистичний аналіз паспортів плавки ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» для оцінки впливу на процеси десульфурації та дефосфорації деяких технологічних параметрів плавки.

За результатами аналізу гістограми частотного розподілу вмісту сірки в сталі та ступеня десульфурації встановлено, що вміст сірки після конвертерної плавки знаходиться на високому рівні. Середнє значення перевищує допустиме для розглянутої марки сталі. Такий вміст сірки завеликий та потрібна позапічна десульфурація. Ступінь десульфурації сталі має достатньо широкий розбіг значень. Треба відмітити, що у більшості плавок ступінь десульфурації був від'ємний, тобто відбувалася ресульфурація. Це може бути пов'язане з використанням значної кількості вуглецевих матеріалів з високим вмістом сірки, а саме вугілля та коксу. Враховуючи середню витрату вугілля та коксу та виходячи з прийнятих в цих матеріалах вмісту сірки, оцінено скільки сірки додатково вноситься у сталь, та загальний ступінь десульфурації.

Аналіз розподілу вмісту фосфору в сталі після конвертерної плавки та ступеня дефосфорації показав, що в усіх випадків вміст фосфору менше допустимого для обраної марки сталі. Середнє значення ступеня дефосфорації по масиву є достатнім і вміст фосфору в сталі менше допустимого.

Визначені залежності ступеню десульфурації та дефосфорації від вмісту цих домішок в чавуні та вмісту FeO в шлаці. При низькому вмісті сірки ступінь десульфурації зменшується через ускладнення перемішування сталі шлаку і можливості переходу сірки з нижніх горизонтів сталі. При високому вмісті сірки в чавуні також спостерігається зниження ступеню десульфурації у зв'язку з

насиченням шлаку сіркою і гальмуванням реакцій десульфурації. Також через те що продуктом загальної реакції десульфурації металу є FeO, збільшення його вмісту в шлаці гальмує швидкість реакції переходу сірки в шлак і ступінь десульфурації падає.

Встановлено, що при збільшенні вмісту фосфору в чавуні дещо зростає ступінь дефосфорації, що говорить про достатню дефосфоруєчу здатність шлаку для поглинання фосфору в наявному діапазоні його вмісту в чавуні. Спостерігається зростання ступеня дефосфорації при збільшенні вмісту FeO в шлаці. Це пояснюється тим, що однією з основних реакцій дефосфорації є реакція наведена на слайді. Відповідно збільшення вмісту монооксиду заліза в шлаці сприяє протіканню процесів дефосфорації.

Для визначення раціональних з точки зору протікання процесів десульфурації та дефосфорації параметрів конвертерної плавки було проаналізовано подвійний вплив питомої витрати чавуну, питомої витрати вапна, температури сталі на другій повальці та витрати кисню на ступінь десульфурації та ступінь дефосфорації

Встановлено, що з підвищенням витрати чавуну ступінь десульфурації та ступінь дефосфорації знижуються. Це пов'язано зі збільшенням кількості кремнію який переходить у шлак, а також зі збільшенням маси домішок, які потрапляють в конвертер разом з чавуном.

Визначено, що збільшення витрати вапна покращує умови дефосфорації в усьому досліджуваному діапазоні, збільшення кількості вільного CaO покращує умови переходу фосфору в шлак, особливо якщо вапно подається в достатній кількості в першому періоді конвертерної плавки. Що стосується ступеню десульфурації, то спостерігається його ріст до певного значення витрати вапна. Подальше збільшення витрати вапна не викликає покращення ступеню десульфурації, а витрата на високому рівні навіть викликає зниження ступеню десульфурації внаслідок збільшення в'язкості шлаку.

Визначено, що температурний режим плавки має протилежний вплив на процеси видалення сірки і фосфору з металу. Для покращення умов десульфурації необхідно підвищувати температуру, тому що сумарна реакції переходу сірки з металу в шлак супроводжується поглинанням теплоти. В свою чергу процес дефосфорації відбувається виділяється теплота і тому для пришвидшення процесу переходу фосфору в шлак потрібно знижувати температуру в конвертері. Саме тому інтенсивно процеси дефосфорації відбуваються на початку плавки.

Встановлено, що збільшення витрати кисню призводить до збільшенню вмісту FeO в шлаці, а також збільшує температуру продуктів плавки. Тому для процесу десульфурації з одного боку

створюються більш сприятливі умови за рахунок збільшення температури, а з іншого – зменшується швидкість переходу сірки у шлак через підвищений вміст в ньому монооксиду заліза. Результируюча цих впливів є від'ємна, тобто ступінь десульфурації при підвищенні витрати кисню дещо зменшується. Також температура гальмує перехід фосфору в шлак, в той же час FeO сприяє пришвидшенню дефосфорації металу.

Розрахунок економічної ефективності (показав, що підтримання витрати чавуну і вапна на визначеному рівні, а також заміна вугілля відходами електродів дозволить знизити собівартість сталі.

Розглянуті питання охорони праці та захисту навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», розраховано параметри витяжного зонду.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз процесів дефосфорації та десульфурації сталі в кисневому конвертері.
2. Визначено технологічні параметри, що впливають на процеси дефосфорації та десульфурації сталі в кисневому конвертері.
3. Проаналізовано шляхи інтенсифікація процесів шлакоутворення, дефосфорації та десульфурації металу в кисневому конвертері.
4. Проведено дослідження впливу технологічних параметрів роботи кисневого конвертеру на процеси десульфурації та дефосфорації для умов конвертерного цеху ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".
5. Визначено раціональні параметри конвертерної плавки з точки зору покращення умов десульфурації та дефосфорації. Раціональний рівень витрати чавуну, тому що перевищення цього значення знижує розвиток процесів десульфурації та дефосфорації, а зменшення кількості чавуну погіршує тепловий баланс плавки, що потребуватиме спалювання більшої кількості вугілля та коксу, які містять значну кількість сірки, а також збільшуватиметься вміст FeO в шлаці. Витрату вапна потрібно підтримувати на визначеному рівні для забезпечення розвитку процесів десульфурації та дефосфорації. Зменшення витрат призводить до гальмування обох процесів, а збільшення понад вказане значення призводить до гальмування процесу десульфурації і є недоцільним в більшості випадків. Збільшення витрати вапна понад вказане значення може бути доречним при збільшеному вмісті фосфору в чавуні. Температуру сталі на

- повальці потрібно підтримувати на рівні визначеному рівні, не допускати перегріву металу а також передуву.
6. Також доцільним є з точки зору зменшення вмісту сірки та покращення умов десульфурації зменшити витрату коксу та вугілля. Для забезпечення необхідного теплового рівня при зменшені витрат коксу та вугілля потрібно вводити додатковий вуглецьмісний матеріал з низьким вмістом сірки. Таким матеріалом може бути відходи графітових електродів – подрібнені залишки електродів після використання та зламані електроди. Це дозволить частково замінити вугілля та кокс на матеріал, вміст сірки в якому буде на значно нижчому рівні поточного в коксі і вугіллі.
  7. Розглянуті питання охорони праці та захисту навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», розраховано параметри витяжного зонду.
  8. Оцінена економічна ефективність від застосування отриманих раціональних значень параметрів конвертерного процесу. Розраховано, що підтримання витрати чавуну, вапна на визначеному рівні, а також заміна вугілля відходами електродів дозволить знизити собівартість сталі.

#### ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Medvedieva K.O., Stoianov O.M., Malii Kh.V. On the possibility of steel saturation with nitrogen in the steel smelting process. *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. 84-86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-25>.

#### АНОТАЦІЯ

Медведєва Катерина Олегівна. Дослідження впливу параметрів продувки сталі в конвертері на процеси дефосфорації і десульфурації сталі при виробництві напівспокійних марок сталі.

Проведено літературний аналіз процесів дефосфорації та десульфурації сталі в кисневому конвертері. Визначено технологічні параметри, що впливають на ці процеси. Проаналізовано шляхи інтенсифікація процесів дефосфорації та десульфурації.

Проведено дослідження впливу технологічних параметрів роботи кисневого конвертеру на процеси десульфурації та дефосфорації. Визначено раціональні значення цих параметрів.

Встановлено, що перевищення раціональної витрати чавуну знижує розвиток процесів десульфурації та дефосфорації, а зменшення погіршує тепловий баланс плавки, що потребуватиме спалювання більшої кількості вугілля та коксу, які містять значну кількість сірки, а також збільшуватиметься вміст FeO в шлаці.

Визначено, що зменшення витрат вапна призводить до гальмування процесів видалення домішок, а збільшення понад раціональне значення призводить до гальмування процесу десульфурації та вапна може бути доречним при збільшеному вмісті фосфору в чавуні. Також встановлено, що доцільним є з точки зору зменшення вмісту сірки та покращення умов десульфурації зменшити витрату коксу та вугілля. Для забезпечення необхідного теплового рівня в цьому випадку потрібно вводити додатковий вуглецьмісний матеріал з низьким вмістом сірки.

Розглянуті питання охорони праці і навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху.

Оцінена економічна ефективність від застосування отриманих значень параметрів конвертерного процесу.

Ключові слова: КОНВЕРТЕР, СІРКА, ФОСФОР, МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ, ШЛАК.

## ABSTRACT

Medvedieva Kateryna. Study of the effect of steel blowing parameters in the converter on the processes of dephosphorization and desulfurization of steel in the production of semi-quiet grades of steel.

A literary analysis of the processes of dephosphorization and desulfurization of steel in an oxygen converter was carried out. The technological parameters affecting these processes are defined. The ways of intensification of dephosphorylation and desulfurization processes were analyzed.

The influence of the technological parameters of the oxygen converter on the desulfurization and dephosphorization processes was studied. Rational values of these parameters are determined.

It was established that exceeding the rational consumption of cast iron reduces the development of desulfurization and dephosphorization processes, and the reduction worsens the heat balance of the smelter, which will require the burning of more coal and coke, which contain a significant amount of sulfur, and the FeO content in the slag will also increase.

It was determined that reducing the consumption of lime leads to inhibition of the processes of removing impurities, and an increase beyond the rational value leads to inhibition of the desulphurization process, and lime may be appropriate with an increased content of phosphorus in cast iron. It was also established that it is expedient to reduce the consumption of coke and coal from the point of view of reducing the sulfur content and improving the desulfurization conditions. In order to ensure the necessary heat level in this case, it is necessary to introduce additional carbonaceous material with a low sulfur content.

Considered issues of labor and environmental protection in the conditions of the converter shop.

The economic efficiency from the application of the obtained values of the parameters of the converter process was estimated.

Key words: BOF, SULFUR, PHOSPHORUS, SIMULATION, ANALYSIS, SLAG.