



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 «Визначення впливу якості шихтових матеріалів на
техніко-економічні показники процесу конвертерної плавки з
метою збільшення виходу придатної сталі»**

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

Консультант від
бази практики

Денис ЄСЬКОВ

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

Здобувач

Артем ГЛАДКИХ

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**

Гладких Артема Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Визначення впливу якості шихтових матеріалів на техніко-економічні показники процесу конвертерної плавки з метою збільшення виходу придатної сталі

керівник роботи Малій Христина Василівна, канд. техн. наук

(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 Матеріали зібрані під час переддипломної практики (технологічні інструкції, паспорти плавок, калькуляції собівартості тощо), наукові публікації за темою кваліфікаційної роботи (статті, тези, монографії тощо).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження впливу якості шихтових матеріалів конвертерної плавки на техніко-економічні показники процесу. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи конвертора при використанні різновидів шихтових матеріалів. Визначення взаємозв'язків впливу якості шихтових матеріалів, а також їх втрат на техніко-економічні показники процесу конвертування металу. Розробка заходів по підвищенню виходу придатного металу. Розділ 3. Охорона праці. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 6 слайдів основної частини, 1 слайд 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

Артем ГЛАДКИХ

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

РЕФЕРАТ

Гладких А.А. Визначення впливу якості шихтових матеріалів на техніко-економічні показники процесу конвертерної плавки з метою збільшення виходу придатної сталі.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія. ОПП «Металургія сталі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2024.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виробництва конвертерної сталі.

Предмет дослідження – шихтові матеріали основного киснево-конвертерного процесу.

За результатами статистичного аналізу паспортів плавок виробництва конвертерної сталі встановлено вплив хімічного складу чавуну та його температури на вихід придатної сталі та питомі витрати шихтових матеріалів, зокрема чавуну і вапна, та тривалість продувки. Отримані результати є корисними для вибору раціонального хімічного складу передільного чавуну та його температури для конвертерної плавки та корегування параметрів плавки у випадку невідповідності хімічного складу і температури чавуну встановленим нормативам для збереження показників процесу на достатньо високому рівні.

КОНВЕРТЕР, ШИХТА, КАМΠΑНИЯ, РОЗПОДІЛ ПАРАМЕТРІВ, ЧОРНА МЕТАЛУРГІЯ, СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ

Список публікацій здобувача

Тенденції раціонального використання марганцю в технології конвертерної плавки / Х.В. Малій, А.А. Гладких // 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. P. 76-77.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ	3
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Шихтові матеріали киснево-конвертерного процесу на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	18
2.1.1 Рідкий чавун	18
2.1.2 Сталевий брухт	20
2.1.3 Шлакоутворюючі матеріали та навуглецьовувачі	23
2.1.4 Теплоносії	25
2.1.5 Газоподібні енергоносії	26
2.2 Методика проведення дослідження	26
2.3 Аналіз частотного розподілу параметрів	27
2.4 Встановлення впливу якості шихти на показники конвертерної плавки	31
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	39
3.1 Аналіз умов праці у конвертерному цеху	39
3.2 Виробнича санітарія та гігієна праці	42
3.3 Техніка безпеки	43
3.4 Пожежна профілактика	44
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	46
ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	51

ВСТУП

Чорна металургія України є однією з провідних галузей народного господарства навіть в умовах ведення бойових дій. Вона забезпечує поповнення бюджету країни валютою через продаж сталі на міжнародному ринку та забезпечую металом військові та цивільні потреби України. Для того, щоб зберегти свої позиції на міжнародному ринку і в майбутньому, а також забезпечити власні потреби, необхідно звернути увагу на якість сталі, що виробляється. Лише покращивши якість продукції металургійного комплексу ми можемо розраховувати на її конкурентоспроможність.

Перспективним завданням української металургії на часи післявоєнної відбудови України є збереження й розширення присутності на світовому ринку, що пов'язане з достатньо високою якістю, гарантіями виконання великих поставок і низькою ціною металопродукції. Одним з напрямків з розширення можливостей по підвищенню вимог до якості продукції підприємства є зниження її собівартості та підвищення якості.

Наразі сталь залишається найважливішим конструкційним матеріалом. Тому забезпечення металообробної промисловості якісною сталевою продукцією необхідного сортаменту є першорядною задачею сталеплавильних і прокатних заводів України.

Виконання цієї задачі лежить не лише у площині оптимізації параметрів технологічних процесів виплавки, позапічної обробки, розливання та прокатки сталей, а й у використанні у виробництві шихтових матеріалів належної якості та невеликої вартості.

Таким чином дослідження впливу якості шихтових матеріалів киснево-конвертерного процесу на продуктивність процесів виробництва сталі є актуальною задачею сталеплавильного виробництва як в Україні, так і в світі.

1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ

В сучасному світі виробництво сталі є важливим ланцюгом промисловості країн, в якому велика увага приділяється оптимізації процесів для досягнення максимальної техніко-економічної ефективності. Один з ключових аспектів цього промислового сектору - конвертерна плавка, що визначає основні технологічні параметри виробничого процесу.

Якість використовуваних шихтових матеріалів в конвертерній плавці має визначальний вплив на ефективність і стабільність процесу. Це стає важливим фактором не лише з технічної точки зору, але й з позиції економічної доцільності виробництва. Інтеграція високоякісних шихтових матеріалів може призвести до значного підвищення якості виробленої сталі, зменшення енергоспоживання та витрат сировини.

Основними шихтовими матеріалами киснево-конвертерного процесу є рідкий чавун, сталевий брухт, шлакоутворюючі (вапно, плавиковий шпат та ін.), феросплави для розкислення та легування. Постійно використовується газоподібний кисень. В роботі наведено аналіз існуючих методів контролю температури киснево-конверторної ванни. Досліджено балансовий метод контролю температури, кінетика вигорання домішок заліза, засвоєння сипких матеріалів, нагрівання футерування та її зв'язок із зміною температури ванни. Наведено результати моделювання температурного режиму конвертованої плавки. Зазначено, що моделі успішно працюють тільки при ретельній підготовці шихтових матеріалів за хімічним складом, температурою та насипною масою [1–4].

Авторами роботи [2] виявлено, що підвищення температури чавуну та зростання вмісту силіцію впливають на зміну масових витрат чавуну під час плавлення, зменшуючи їх, та одночасно призводять до збільшення масових витрат брухту. Зі збільшенням заданої температури металу на повалці

спостерігається збільшення масових витрат чавуну на плавлення та зменшення масових витрат брухту. Коректування шихтовки плавки виконують при відхиленнях параметрів металу від заданих, отриманих після закінчення продувки: по температурі не менше ніж на 20 °С, по вмісту вуглецю не менше ніж на 0,02 %.

В Інституті чорної металургії НАН України розробляється перспективна технологія плавлення металу за допомогою низьковольтних потенціалів. Результати проведених лабораторних та промислових досліджень свідчать про можливість підняття температури металу до завершення плавлення, що відкриває можливість регулювання складу шихти, зменшуючи витрати рідкого чавуну та поліпшуючи техніко-економічні показники роботи конвертерів. У зв'язку з цим, авторами роботи [5] були виконані розрахунки матеріального та теплового балансів під час дослідних та порівняльних плавок, які були проведені на конвертерах двох підприємств України з ємністю 60 та 160 т.

Для швидкого розрахунку та порівняння різних експериментальних варіантів розроблено алгоритм матеріального та теплового балансів конвертерної плавки, призначений для конкретних умов функціонування промислових агрегатів. У цьому алгоритмі використані фізико-хімічні методи моделювання, а також закономірності та емпіричні залежності, взяті з відомих літературних джерел [6, 7].

Авторами роботи [5] на основі здійсненого аналізу теплового балансу конвертерної плавки, проведеного на конвертерах різної ємності (60 та 160 т), виявлено, що зростання тепловмісту ванни, спричинене збільшенням вмісту кремнію в чавуні, майже повністю компенсується кількістю введеного на плав. З іншого боку, електричний потенціал має суттєвий вплив на розвиток екзотермічних реакцій у процесі конвертування. Це проявляється в помітному перегріві сталеплавильної ванни до кінця плавки або у вкладенні тепла за рахунок підвищення вмісту вуглецю на повалці або зниження частки оксидів заліза в кінцевому шлаку конвертерному. Результати матеріального

балансу свідчать, що використання електричної енергії призводить до підвищення коефіцієнта виходу придатного металу, переважно за рахунок зменшення втрат металу у вигляді оксидів заліза та корольків у шлаку, особливо при зміні полярності потенціалу під час продування плавки.

У роботі [8] досліджено та розроблено методи підвищення точності інформації про початкові параметри металеві частини шихти для підвищення показників управління конвертерною плавкою. Дослідження показали, що потрапляння 1% окалини (іржі) від маси брухту до конвертера знижує кінцевий вміст вуглецю при незмінній кількості дуття на плавку на 0,05%. Міксерний шлак повинен ретельно скачуватися з поверхні ковшів, що заливаються. Виняток впливу неконтрольованих характеристик металевих брухту можливе шляхом його усереднення на скраповому дворі.

Авторами роботи [9] розроблено композитну модель для обчислювального аналізу процесу виробництва чавуну Corex. Модель поєднує набір загальних рівнянь матеріального та теплового балансу. Використовуючи вказані користувачем вхідні дані, модель здатна визначати споживання сировини та флюсів, об'єм і склад шлаку, а також об'єм і склад відновних газів з плавильника-газифікатора. Точність прогнозування робочих параметрів Corex конкурентоспроможна, і модель дозволяє обчислювати зміни в шляхах процесу, спричинені модифікацією сировини Corex, складу шлаку, хімічного складу гарячого металу та інших параметрів. Модель дозволяє оптимізувати робочі параметри процесу Corex.

В роботі [10] розглянуто процес Corex, завдяки якому можна виробляти гарячий метал без використання коксу та який має деякі переваги щодо зменшення забруднення. Вміст кремнію в гарячому металі, отриманому в печі Corex, становить 0,6–1,5 масових %, що призводить до серйозної корозії футеровки. Для вивчення механізму корозії футеровки було взято зразок корозійної футеровки та проаналізовано морфологію корозійної області за допомогою SEM. Оптимальний склад шлаку для розбризкування був

визначений шляхом поєднання заводських експериментів і теоретичного розрахунку. Результати показують, що хімічна реакція та розчинення (MgO) призводять до корозії футеровки конвертерного конвертера. Виявлено градієнти концентрації Mg і Fe між шлаком і вогнетривкою цеглою, які сприяють масообміну і реакції між шлаком і вогнетривкою цеглою. Низька основність шлаку призводить до низької температури плавлення та меншого утворення твердої фази при тій самій температурі, що призводить до розмивання шлаку на ранній стадії виробництва сталі в конвертері. Крім того, низька основність призводить до високої насиченої розчинності (MgO), що є корисним для розчинення (MgO) вогнетривкої футеровки. Постійна реакція та розчинення (MgO) між футеровкою та шлаком призводить до корозії футеровки. Основність шлаку повинна бути 1,0–1,2. Вміст (FeO) слід контролювати менше 5 мас.%, а вміст (MgO) повинен бути 5–7 мас.%.

В роботі [11] проведений аналіз технологій рафінування чавуну, які використовуються на металургійних підприємствах Японії, США, Західної Європи і України, виявив, що основними факторами, що значно впливають на конкурентоспроможність металопродукції України, є висока енергоемність виробництва. Досліджено, що для підвищення ефективності виробництва сталі необхідно розробити енергоефективну одностадійну технологію підготовки чавуну до конвертерної плавки, включаючи попереднє видалення кремнію і сірки з чавуну в заливальному ковші. Описана технологія включає в себе вдування фурми, запущеної у розплавленому алюмінії, в чавунний розплав за допомогою струменя кисню. Результатом застосування цієї технології буде зниження вмісту кремнію і сірки в чавуні до 0,15 - 0,36% і 0,005 - 0,010% відповідно, без втрати теплоти. З використанням такого чавуну у виробництві киснево-конвертерної сталі можливо скоротити витрати вапна на плавлення, зменшити втрати металу з меншою кількістю шлаку та зменшити витрати чавуну на виробництво сталі.

В Японії широко використовується марганцева руда в конвертерному виробництві як при верхньому, так і при комбінованому продуванні. При

цьому досягається ступінь переходу марганцю з руди в метал на рівні 90%. Важливо відзначити, що використання марганцевої руди призводить до погіршення теплового балансу плавки через додаткові витрати тепла на її нагрівання та розкладання. Також широкого поширення набули шлаки, що формуються при виплавці силікомарганцю та феромарганцю, які містять 20-30% марганцю, як у металевій, так і в оксидній формі. Використання таких шлаків призводить до приблизного подвоєння вмісту оксиду марганцю в конвертерному шлаку вже з перших хвилин продувки, сприяє асиміляції вапна і дозволяє підтримувати рідкорухомий стан шлаку до завершення плавки, навіть без додаткових присадок плавикового шпату.

Використання таких шлаків є особливо обґрунтованим при переплавці чавунів із зниженим вмістом марганцю, оскільки це сприяє ефективному використанню марганцю в металургійному виробництві і забезпечує економію феросплавів. Наприклад, введення марганцевих шлаків у кількості 8-10 кг/т сталі підвищує залишковий вміст марганцю в металі на 0,05-0,06%, а витрата феромарганцю або силікомарганцю зменшується на 0,9-1,0 кг/т [12].

Авторами роботи [13] зазначено, що використання матеріалів які містять марганець, основними з яких є марганцеві руди (окисні, карбонатні), є підвищення вмісту оксиду марганцю в первинному шлаку. Наприклад, у 100-т конвертерах використовувалася окисна марганцева руда, яка складалася з 29-35% Mn, 15,2-19,3% SiO₂, 3,6-5,0% Fe, 2,6-3,9% Al₂O₃, 4,1-7,2% CaO, 1,6-2,0% MgO та 0,016-0,048% S. При її додаванні на початку продувки у кількості 15-25 кг/т металевого виробу, вміст марганцю в чавуні збільшувався на 0,5-0,7%. Вміст оксиду марганцю в шлаку збільшувався вже з перших хвилин продувки, що призводило до значного підвищення швидкості розчинення вапна та ступеня його засвоєння під час плавлення. Основність шлаку протягом всієї продувки перевищувала значення на 0,5-0,6 одиниць, порівняно з плавками без додавання марганцевої руди.

За даними роботи [14] виявилось можливим майже повністю виключити плавикий шпат з шихтових матеріалів та знизити витрати розкислювачів завдяки вищому залишковому вмісту марганцю в металі на повалці. Покращення утворення шлаку при використанні марганцевої руди сприяло підвищенню ступеня десульфурації та стійкості футерівки.

Ефективність присадок марганцевої руди зростає при продувці чавуну зі зниженим змістом марганцю. Плавки проходять майже без заметалювання фурм і горловини конвертера.

За даними роботи [4] ключовим елементом у моделі управління конвертерною плавкою є статичний розрахунок компонентів шихти. Точність цього розрахунку в значній мірі залежить від точності контролю вихідних параметрів. Під час формування шихти для плавки найважливішими є параметри рідкого чавуну та металевих брухту. Зміни у їхніх показниках відображаються у вихідних параметрах конвертерного процесу.

Основною характеристикою чавуну є його хімічний склад, який визначається за пробою, взятою із струменя під час виливання чавуну з міксера в ківш. Хоча масові частки кремнію, марганцю, фосфору та сірки в чавуні можна досить точно визначити аналізом проби на квантометрі, визначення вмісту вуглецю в розплаві виявляється надзвичайно складним через його кристалізацію у рідкій фазі насиченого розчину. Результати досліджень свідчать, що врахування частки вуглецю при формуванні шихти плавлення дозволяє ефективно економити до 6 кг/т сталі [15].

Авторами роботи [16] стверджується, що розрахунок шихти методом лінійного програмування дозволив збільшити вихід придатного середньому на 0,4 %. Вірогідність отриманого результату, перевірена за критерієм Стюдента, відповідає рівню значимості 0,99.

В роботі [17] відмічено, що збільшення рівня забруднення брикетів із сталевих стружки неметалевими включеннями призводить до зниження їх хімічного тепловмісту. Досліджено, що підвищення енергоефективності конвертерного процесу застосуванням брикетів із сталевих стружки при

попередньому підігріві їх на 100-800 градусів перед заливанням чавуну становить від 60 до 630 МДж/т та від 445 до 1000 МДж/т для брикетів із забрудненістю неферовмісними домішками у розмірах 2,47% та 7,87% від маси відповідно. Зменшення забрудненості брикетів неметалевими домішками сприяє підвищенню енергоефективності попереднього підігріву металошихти. Вплив ступеня забрудненості брикетів із неферовмісними домішками на загальну енергоефективність конвертерної плавки складає у середньому 0,3% від загальної економії енергії, отриманої внаслідок підвищення частки металобрухту у металошихті. Отримані значення зменшення енерговитрат на виплавку сталі (1,91-1,92 ГДж/т) свідчать про ефективність використання технології конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту в сировинних умовах вивченого комбінату.

Раніше розроблено технологію конвертерної плавки, яка використовує брикети, що містять оксиди заліза. Практичний досвід свідчить, що використання залізобетонних брикетів (ЖСБ) з витратою до 5 кг/т сталі допомагає прискорити процес утворення шлаку, особливо на початкових етапах продування. Однак зі збільшенням витрат до 10-20 кг/т сталі спостерігається негативний вплив на тепловий баланс конвертерної плавки, що вимагає збільшення витрат рідкого чавуну [18, 19].

Авторами [14] проведено випробування брикетів, які склалися з 45% дрібної марганцевої руди, 45% плавикового шпату та 6% обпаленого вапна, показали задовільні результати. Брикети містили 32% CaF_2 ; 28,7% MnO ; 3,3% SiO_2 ; 4,2% CaO ; 2,0% MgO ; 2,7% Al_2O_3 ; 7,8% FeO ; 0,05% S; 2,5% H_2O . Заметалювання фурм не відбувалося, вихід придатного підвищився в середньому на 0,2%.

В роботі [20] проведено моделювання конвертерної плавки із введенням у шихту залізовмісних (ЖСБ) та карбідокремнієвих брикетів (БКЖС). Показано, що залежно від кон'юнктури цін на шихтові матеріали та відповідно до поставленого завдання, тепловий баланс конвертерної плавки можливо ефективно коригувати присадками того чи іншого виду

залізовмісних, карбідокремнієвих брикетів. Однак слід зазначити, що авторами не враховано технологічні властивості брикетів та їх вплив на характер перебігу конвертерної плавки.

Відповідно до розрахунків автора [21], підвищення вмісту металобрухту у сировині для кисневих конверторів, враховуючи його тип і хімічний склад, за даними роботи [22], призводить до середнього зменшення енерговитрат на виробництво сталі на 1,9 ГДж/т за кожне збільшення частки металобрухту на 10%.

Запропоновані математичні вирази для опису плавлення металобрухту в конвертерній плавці використовують лінійні залежності та поліноми 4-го ступеня, враховуючи зміну концентрації вуглецю у ванні. Вивчено вплив щільності та частки металобрухту в металошихті на час його розплавлення у ванні кисневого конвертера та вихід рідкого металу. Встановлено вплив щільності металобрухту на вміст оксидів заліза у шлаку та температурний режим процесу. З точки зору оптимізації плавки раціональним виявляється використання рівних часток важкого і легкого металобрухту, незалежно від частки останнього в загальній масі металошихти конвертерної плавки. В умовах розглянутих обставин максимізація виходу рідкого металу досягається при використанні "холодного" металобрухту з кількістю до 22% від загальної маси металошихти [23].

Враховуючи те, що при виплавці 1 т нерозкисленої киснево-конвертерної сталі зі шлаком втрачається до 40 кг заліза у вигляді оксидів, скрапін і корольків [24], а також його мінеральна складова, утилізація сталеплавильних шлаків є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить знизити витрату непоправних природних сировинних ресурсів та покращити екологічну обстановку в прилеглий до відвалів місцевості. В сучасному контексті проблему використання шлаків вирішують двома методами: шлак у рідкій або твердій формі повертають у технологічний процес отримання залізовуглецевих сплавів; або виводять шлак з металургійного циклу та використовують у господарській діяльності. Також

відомо, що в Японії, Німеччині, США, Канаді та Австралії цей підхід до утилізації конвертерних шлаків практично повністю реалізований [25–27].

Переваги залишання шлаку з точки зору асиміляції вапна можна підтвердити наступними розрахунками: утворені кінцеві шлаки мають великий вміст оксидів заліза, залежно від концентрації вуглецю в металі від 16 до 25%. Іони Si^{4-} вже зв'язані в сиботаксичні групи з катіонами Ca^{2+} у конвертері, із шлаками в початковій стадії продувки, відбувається додаткове виділення тепла. Все це сприяє ефективному розчиненню шлаку вже з перших хвилин продувки. Вперше дана технологія була випробувана в 50-т конвертері Криворізького металургійного комбінату, і її використання розповсюджено в багатьох конвертерах різної ємності. Найкращі результати досягаються при залишенні 20-25% шлаку, оскільки при більшій кількості виникають викиди під час продування. При роботі з залишеним рідким шлаком основність та вміст CaO в ньому підвищуються з самого початку продувки, що сприяє поліпшенню умов десульфурзації і дозволяє скоротити витрати перевеліся на 10-20%, а частково або повністю витрати плавикового шпату. Збільшується вихід рідкої сталі на 0,2-0,5% через зменшення втрат заліза зі шлаками [28].

Проте при тривалій безперервній роботі конвертера залишання шлаку в ньому приводить до накопичення сірки та фосфору. Це призводить до збільшення їхнього вмісту в металі, тому необхідно періодично оновлювати шлаки.

Основним недоліком такої технології є можливість викидів з конвертера при заливанні чавуну через вибухоподібну взаємодію заліза, яке містить у собі вуглець, і оксидів та шлаку. Для уникнення цього ризику залишкові шлаки загущують вапном (витрата від 20% до 50% на плавку), доломітом та матеріалами, що утримують вуглець (вугілля, кокс), а також алюмінієвими відходами (30-40% металевого алюмінію). Крім того, заливку чавуну проводять обережно, контролюючи темп і струмень [28].

При обробці фосфористих чавунів (з вмістом фосфору більше 1%), залишання частини кінцевих шлаків є обов'язковою складовою технології.

Цей технологічний метод не лише покращує процес утворення шлаків, але й сприяє збільшенню витрати лому.

Основність шлаків та вміст заліза в них, наприклад, впливають на об'ємну стабільність та пористість кінцевого продукту. Додаткового поліпшення цих якостей досягають інжекцією в рідкий шлак матеріалів з високим вмістом SiO_2 у потоці кисню, отримуючи під час кристалізації стабільні шлакові фази, такі як силікати та ферити [29].

Позитивний вплив на процес утворення шлаків відзначається під час конвертерної плавки за участю присадок твердих оборотних шлаків, які, крім високого рівня основності (2,9-3,3), містять в собі від 15% до 25% оксидів заліза. Результати лабораторних досліджень свідчать, що часткова заміна перевелися твердими шлаками (від 0,67% до 1,5% маси металу) значно підвищує ступінь засвоєння перевелися. Промисловий досвід в різних конвертерах підтверджує цілеспрямованість використання твердих шлаків протягом різних етапів продувки, і ця практика може сягати навіть до 20-25 кг/т [30 – 32].

Повторне використання конвертерних шлаків (рідкого або твердого) дозволяє заощаджувати вапно, плавииковий шпат, забезпечує м'який хід продувки й підвищує вихід рідкий метал.

Авторами роботи [33] також відмічається, що введення деметалізованого шлаку в плавку сприятливо впливає на шлаковий режим у процесі рафінування сталі в конвертері і дозволяє економити частину свіжого вапна. Крім того, введення великої кількості деметалізованого шлаку відбивається на морфології структури кінцевого шлаку конвертерного, в якій відзначаються в основному голки трикальцієвого силікату. Така структура сприятлива для підвищення властивостей міцності твердого шлаку.

Перевагою включення рідких шлаків сталеплавильного циклу в металургійний процес є збереження їхньої фізичної енергії, яка в

середньому становить 2,0 ГДж/т шлаку. Це робить використання відпрацьованих шлаків у вигляді рідких реагентів для додаткової обробки чавуну та сталі більш привабливим.

У досліджах [17, 18] було продемонстровано, що він виявляє активність як десульфуратор у відношенні до чавуну. Термодинамічна можливість рафінування чавуну від сірки, $\varepsilon_0 = ([S]_0 - [S]_p)/[S]_0$ (де $[S]_0$ і $[S]_p$ – початковий та рівноважний вміст сірки в чавуні), у температурному інтервалі 1320-1520 °С досягає 0,9. Однак глибокій десульфуратії чавуну за допомогою шлаку перешкоджає його обмежена кінетична можливість $\alpha = 1 - \exp(D_s \cdot L \cdot A \cdot t/\delta)$ (де D_s – коефіцієнт дифузії сірки в шлаку між чавуном та шлаком, A – ефективна поверхня розділу між чавуном і шлаком, t – час десульфуратії), яка не перевищує 0,45 в інтервалі температур 1320-1400 °С.

Як показали результати проведених дослідів, цей показник може бути збільшений вдвічі за рахунок перемішування розплаву шлакометалевого. Обробка чавуну при 1350 °С сталеплавильним шлаком з добавкою фториду кальцію та присадкою оксиду заліза забезпечує ступінь видалення сірки та фосфору понад 90 % [17].

На основі даних описаних авторами робіт [34, 35] визначено, що для досягнення десульфуратійного ефекту при використанні рідких шлаків у процесі позапічної обробки сталі необхідно їхню додаткову підготовку, включаючи розкислення, коригування хімічного складу та, при потребі, підігрів. Описані методи позапічної обробки сталі за використання розкислених конвертерних шлаків відображають позитивні результати цього процесу. Різнобічні дослідження, проведені як в лабораторних, так і в промислових умовах, свідчать про можливість ефективного використання відпрацьованих сталеплавильних шлаків для позапічної обробки сталі за схемою використання рідких рафінувальних шлаків. Важливо враховувати, що для цього необхідна регенерація металургійних властивостей використаних шлаків. Особливу увагу слід приділити видаленню зі шлаків

сірки та фосфору, а також відновленню вмісту добавок вапна та твердих розкислювачів.

На основі проведеного аналітичного дослідження впливу якості шихтових матеріалів конвертерної плавки на техніко-економічні показники процесу визначено, що їх підготовка проводиться різними методами та має відповідно різний вплив на якість продукції і на матеріало- та енергозатрати. Отже, проведення статистичного аналізу даних роботи конвертора при різноманітному використанні шихтових матеріалів, задля вдосконалення роботи даного агрегата є досить актуальним.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основним документом в області охорони праці є Закон України «Про охорону праці», що був прийнятий 14 жовтня 1992 року Верховною Радою України [38]. Цей закон визначає основні положення по реалізації конституційного права громадян на охорону їхнього життя й здоров'я в процесі трудової діяльності й установлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Темою бакалаврської роботи є дослідження впливу складу чавуну на показники киснево-конвертерного процесу в умовах конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», тому у даному розділі зроблено аналіз умов праці у конвертерному цеху.

3.1 Аналіз умов праці у конвертерному цеху

Особливість технологічного процесу в конвертерному цеху полягає в тому, що на робітників діють наступні шкідливі і небезпечні чинники: газовиділення, що утворюються при продуванні конвертера, роботі газових пальників в котлах-утилізаторах і при сушці футерування відремонтованих конвертерів і сталерозливних ковшів; тепловиділення від технологічного устаткування і розплавленого металу і шлаку; пиловиділення, що утворюється при транспортуванні сипких матеріалів, продуванні конвертера, сливі чавуну з ковша в конвертер, випуску сталі і шлаку з конвертера; недостатня освітленість робочої зони; машини та механізми, що рухаються, небезпека ураження електричним струмом.

Цех відноситься до «гарячих» цехів, надлишки тепла становлять більш 300-500 Вт/м³.

За ступенем важкості роботи, цех відноситься до категорії ІІб – середньої важкості фізичні роботи з енерговитратами організму до 293 Вт згідно ДСН 3.3.6.042-99 [39] та ГОСТ 12.1.005-88 [40]. У таблиці 4.1 наведені

фактичні й допустимі параметри мікроклімату для категорії ІІБ згідно [38,39] і СН 2527-82 [41].

Таблиця 3.1 – Параметри мікроклімату в робочій зоні конвертерного цеху

Період року	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с		Інтенсивність теплового опромінення, Вт/м ²	
	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична
Холодний	15 - 21	17 - 25	75	60 - 70	≤ 0,4	0,2 - 0,4	1400	660-10500
Теплий	≤ 28	25 - 50	70	60 - 70	0,2 - 0,5	0,2 - 0,7	1400	660-10500

Іншим, не менш шкідливим чинником, в конвертерному цеху є шум. Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я робочих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність праці. Робота в умовах підвищеного шуму протягом всього дня викликає стомлення органів слуху, а також шкідливо впливає на весь організм в цілому: підвищує кров'яний тиск, викликає зміну ритму серцевих скорочень, неврози. Тривала дія шуму, що перевищує допустимі рівні, призводить до втрати слуху. Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.003-83 [42] та ДСНЗ.3.6.037-99 [43] граничнодопустимий рівень шуму у виробничих приміщеннях 80 дБА. Фактичний рівень шуму досягає 85-95 дБА.

Шкідливими виробничими факторами є пил, пари, газы, що потрапляють у повітря робочої зони цеху в результаті технологічних операцій. Конвертер є найбільш значним джерелом пиловиділення. Пил, що виділяється з конвертера, має щільність 4,3 г/см³. Середня кількість пилу,

що міститься у конвертерних газах, складає 25-30 кг/т. У конвертерному та завантажувальному прольотах основне джерело викидів – неорганізовані викиди. У міксерному та переливному відділеннях при сливі чавуну виділяється графітовий пил. Пил може викликати професійні специфічні захворювання такі, як алергія, пиловий бронхіт, бронхіальна астма, фіброз. У таблиці 3.2 наведені фактичні й гранично допустимі згідно [39] концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони конвертерного цеху. При порушеннях технологічного процесу або аварійних ситуаціях вміст пилу й інших шкідливих речовин може значно перевищувати ГДК.

Таблиця 3.2 – Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони цеху

Шкідлива речовина	Фактична концентрація, мг/м ³	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
Пил, що містить заліза окис з домішками фтористих або від 3 до 6% марганцевих з'єднань	6-8	4	4
Вуглецю пил	2-10	6	4
NO ₂	2-6	5	2
SO ₂	4-6	10	3
Оксид вуглецю	0, 8-1,0	20	4

До небезпечних виробничих факторів у цеху відносяться можливість одержання механічних травм, опіків, падіння з висоти.

Небезпечним виробничим фактором є також можливість ураження людей електричним струмом. Згідно «Правил пристрою електротехнічних установок» [44] приміщення конвертерного цеху по ступеню небезпеки ураження електричним струмом ставиться до особливо небезпечних

приміщень. По доступності електроустаткування цех ставиться до виробничих приміщень, по напрузі – до 1000 В.

Несправність електричного встаткування й порушення правил техніки безпеки може призвести до поразки людей електричним струмом. При впливі струму людина може одержати загальну або місцеву електротравму. Результат електротравми залежить від сили струму, напруги в ланцюзі, тривалості протікання струму через тіло людини. В умовах цеху, при підвищеній температурі повітря й вологості, ступінь важкості ураження зростає.

Для створення сприятливих умов праці велике значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності, може бути причиною нещасних випадків. Природна освітленість у цеху недостатня, тому в денний час постійно використовують штучне освітлення. По характеристиці зорової роботи, робота основного обслуговуючого персоналу ставиться до VIII розряду, підрозряд “а”. Нормована величина освітленості – 75 лк у відповідності зі СНіПІІ-4-79 [45] та ДБНВ.2.5-28-2006 [46].

3.2 Виробнича санітарія та гігієна праці

Джерелами теплових виділень у цеху є конвертери, ковші, розпечені чавун, сталь, шлак та ін.

Для захисту від теплових випромінювань у відповідності з ГОСТ 12.4.011-89 [47], ГОСТ 12.4.123-83 [48], СНіП 2.04.14-88 [49] передбачають теплоізоляцію поверхонь, застосування екранів, теплозахист, раціональний режим праці та відпочинку, застосування засобів індивідуального захисту. У конвертерному 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.

Для зниження потрапляння пилу у робочу зону цеху, систему подання і завантаження сипких матеріалів в конвертер виконують з герметизацією місць виділення пилу, відсмоктуванням і очищенням газів від пилу. У ковшовому прольоті передбачають природну аерацію і установку витяжних зонтів над стендами для розігрівання ковшів і ломки футеровки.

Для забезпечення нормативної освітленості на робочих місцях використовується загальне штучне освітлення у відповідності до [46]. Необхідний рівень і якість освітлення досягається також за рахунок очищення зашкленних світлових прорізів у стінах і витяжних ліхтарях, світильників від пилу; своєчасної заміни джерел освітлення, що вийшли з ладу; застосуванням стабілізаторів напруги для системи штучного освітлення.

Зниження рівнів звукового тиску в приміщенні у відповідності з ГОСТ 12.1.029-80 [50] передбачають застосуванням глушників, екрануванням, облицюванням стелі та стін звукопоглинаючим матеріалом, архітектурно-планувальними рішеннями, використанням засобів індивідуального захисту – навушники, шоломи, каски з навушниками, антифони.

3.3 Техніка безпеки

В конвертерному цеху усі робітники повинні проходити необхідні інструктажі з техніки безпеки. Це увідний інструктаж, на робочому місці, плановий, позаплановий, цільовий. Після кожного виду інструктажу роблять запис у спеціальному журналі з підписами робітника та того, хто проводив інструктаж.

Для забезпечення захисту людей від випадкового торкання до струмоведучих частин використовують захисні огороження, безпечне розташування та ізоляцію струмоведучих частин, використання малих напруг, блокувальні пристрої, електричний розподіл мереж, попереджувальну сигналізацію та знаки безпеки, подвійну або підсилену

ізоляцію, контроль ізоляції, засоби індивідуального захисту. Захист від ураження при торканні до металевих неструмовідних частин, що можуть опинитися під напругою внаслідок руйнування ізоляції, здійснюється захисним заземленням, зануленням, захисним вимиканням. При цьому захисне заземлення та занулення повинно відповідати ГОСТ 12.1.030-81 [51].

Попередження травмування персоналу механізмами, що рухаються, забезпечується їхньою міцністю; установкою огорожень, захисних кожухів на обертових частинах устаткування; надійністю роботи вантажозахватних пристроїв, обладнанням площадок, сходів відповідно до правил техніки безпеки; забезпеченням зручного доступу до всіх механізмів для їхнього обслуговування й ремонту; фарбуванням устаткування, що підвищує увагу до найнебезпечніших місць.

3.4 Пожежна профілактика

Приміщення конвертерного цеху за категорію пожежної та вибухово-пожежної небезпеки за СНиП 2.09.02-85 [52], ОНТП 24-86 [53] відноситься до категорії «Г». Ступінь вогнестійкості будівельних конструкцій I та II згідно СНиП 2.01.02-85 [54].

Можливими причинами виникнення пожежі можуть бути: конструктивні недоліки встаткування, порушення технологічного режиму, несправність електроустаткування, самозаймання промасленого дрантя й інших матеріалів, несвоєчасний ремонт, зношування й корозія встаткування, іскри при ремонтних роботах, порушення правил техніки безпеки при проведенні робіт, необережність або недбалість персоналу тощо.

Вибухи та викиди рідкого металу в цеху можуть відбуватися в результаті завантаження в конвертер вологого металобрухту, при введенні в рідкий метал вологих розкислювачів і легуючих матеріалів.

Для запобігання виникнення пожеж і вибухів передбачаються наступні заходи: контроль за станом і режимом роботи електроустаткування, недопущення перевантажень електродвигунів, трансформаторів і кабелів електромережі; недопущення скупчення промасленого дрантя й своєчасне його видалення.

До засобів пожежегасіння відноситься використання вуглекислоти, технологічної пари, піни, води. Обладнані протипожежні куточки, забезпечені ящиками з піском, ємностями з водою і пожежним щитом. Засобами пожежегасіння в цеху являються станції водяного, пінного, газового пожежогасіння. Прокладення кабелів через перекриття, стіни і перегородки здійснюється у відрізках труб, що не згорають, з відповідною їх герметизацією негорючими матеріалами. Відповідно до діючих норм, для виявлення займання у маслопідвалах передбачена система автоматичної пожежної сигналізації з тепловими датчиками.

Вірогідність ураження будівель блискавкою зменшена застосуванням системи захисту від блискавки II категорії, виконаної відповідно до СН 305-77 [55]. У цеху є п'ять евакуаційних виходів. На випадок пожежі розроблений план евакуації людей.

ВИСНОВКИ

Розглянуто технологію киснево-конвертерної плавки та вимоги до шихтових матеріалів в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

На прикладі виплавки сталі марки 4сп проведено аналіз якості переробного чавуну, що показав середній склад чавуну та розподілення вмісту його складових.

Кремній у чавуні в середньому складає %, та іноді досягає ... %. Це погано впливає на кількість вапна, потрібного для утворення шлаку необхідної основності. Маса витрат вапна становить в середньому кг/т та зростає з підвищенням вмісту кремнію у чавуні на % на кг/т. Звідси збільшення маси шлаку та витрат заліза. Таким чином, зі зростанням вмісту кремнію в чавуні на % вихід придатної сталі скоротиться на ... %.

За рахунок зменшення вмісту кремнію і сірки в чавуні річний економічний ефект складає грн.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богушевський, В.С. Автоматизована система керування конвертерною плавкою / В.С. Богушевський, К.О. Сергеева, С.В. Жук // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2011. – С. 147–151.
2. Богушевський, В.С. Розрахунок металевої частини шихти киснево-конвертерної плавки / В.С. Богушевський, В.Ю. Сухенко, К.О. Сергеева, С.В. Жук // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2010. – № 7. – С. 266 – 269.
3. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С.: Підручник / Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія). – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.
4. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф.Чернега, В.С.Богушевський, Ю.Я.Готвянський та ін.; За ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
5. Анализ материального и теплового балансов конвертерной плавки при использовании низковольтных потенциалов / С.И. Семькин, В.Ф. Поляков, Е.В. Семькина, С.А. Дудченко, Т.С. Семькина // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2004. — Вип. 8. — С. 195-201
6. Разработка элементов сквозной технико –экономической модели производства конвертерной стали и определение с ее помощью рациональных схем производства металла в различных условиях. С –353 –90: Отчет о НИР (заключительный) / ИЧМ; инв. № 847. – Днепропетровск, 1991. – 49с.

7. Тепловые работы кислородных конвертеров / В.И. Баптизманский, Б.М.Бойченко, В.П. Черевко – М.: Metallurgy, 1988. – 176 с.
8. Богушевский В. С. Влияние неконтролируемых параметров чугуна и лома на ход конвертерной плавки / В. С. Богушевский, А. Э. Скачок, В. Ю. Сухенко // Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и на транспорте 2014: сборник научных трудов международной конференции, 27-28 сентября 2014г. - Днепропетровск, 2014. – С. 247-254.
9. Prachethan Kumar, P.; Garg, L. M.; Gupta, S. S. (2006). Modelling of Corex process for optimisation of operational parameters. Ironmaking & Steelmaking, 33(1), 29–33. doi:10.1179/174328106x80037
10. Dai, Yuxiang; Li, Jing; Yan, Wei; Shi, Chengbin (2020). Corrosion mechanism and protection of BOF refractory for high silicon hot metal steelmaking process. Journal of Materials Research and Technology, (), S2238785419321179—. doi:10.1016/j.jmrt.2020.02.055
11. Пушкаренко, М.В. Розрахунок металевої частини шихти киснево-конвертерної плавки / М.В. Пушкаренко, А.К. Тараканов, В.Г. Кисляков // Металургійна та гірничорудна промисловість. – 2020. – № 4. – С. 11 – 19. DOI: 10.34185/0543-5749.2020-4-11-19
12. Демидов, К.Н. Применение шлаков силикомарганца в кислородных конвертерах при переделе чугунов с различным содержанием марганца / К.Н. Демидов, Л.А. Смирнов, С.М. Челпан и др. // Metallurgy and Coal Chemistry. Kiev: Tekhnika, 1985. Вып. 19. С.48.
13. Колпаков, С.В. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др.; М.: Машиностроение. 1991.- 464с.
14. Серветник, В.М. Использование марганцевой руды в кислородном конвертере / В. М. Серветник, Г.Г. Матухно, А.Т. Китаев и др. // Сталь. – 1969. - №12. - С. 1081-1083.

15. Казаков А.А. О влиянии содержания углерода в чугунах на тепловой баланс конвертерной плавки / А.А. Казаков, И.П. Гриневич, В.И. Веремейчиков и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1984. – № 2. – С. 14 – 15.

16. Богушевский, В.С. Прогнозирование выхода жидкой стали в конвертере / В.С. Богушевский, А.Э. Скачок // *Металл и литье Украины*. – 2013. – №3. – С. 8–11.

17. Сігарьов, Є.М. Вплив якості металобрухту при його попередньому підігріві на енергоефективність конвертерної плавки / Є.М. Сігарьов, Ю.С. Лобанов, В.П. Полетаєв // *Металургія*. – 2020. – №36. – С. 21–27.

18. Чмырков К. Ф., Бойченко Б. М.. К вопросу об утилизации отходов металлургического производства методом их брикетирования / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 7. – С. 147-149

19. Заспенко А. С., Шибко А. В., Чмырков К. Ф. Использование брикетов в конвертерном производстве ПАО «Евраз – ДМЗ им. Петровского» / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 3. – С. 12-13.

20. Чмырков, К.Ф. Моделирование конвертерной плавки с использованием в шихте карбидокремниевых, железосодержащих брикетов / К.Ф. Чмырков, А.С. Заспенко, К.Г. Низяев, Б.М. Бойченко, В.А. Петренко, А.Н. Стоянов // *Металл и литье Украины*. – 2014. – №5-6. – С. 51–54.

21. Сігарьов Є.М., Лобанов Ю.С. Енергоефективність конвертерного процесу із заміниками сталевих брухту у шихті. Monografia pokonferencyjna «SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT. №32», Berlin, 30-31 серпня 2020 р. Warszawa: Sp.z.o. «Diamond trading tour», 2020. С. 48-61.

22. Сігарьов Є.М. , Полетаєв В.П. , Вовк О.А. Удосконалення методики визначення металургійної цінності окускованих відходів. Зб. наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Кам'янське, 2019. Вип. 1 (34). С. 15-23.
23. Сігарьов, Є.М. Моделювання плавлення металобрухту різної щільності у киснево-конвертерній плавці / Є.М. Сігарьов, Ю.С. Лобанов, С.В. Семірягін, А.А. Похвалітий // Металургія. – 2021. – №37. – С. 3–8. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.37.2020.1>
24. Бигеев А.М. Металлургия стали. – М.: Металлургия, 1988. – 450 с.
25. Sanay J. S., Nagpal O. P., Prasad S. Waste management of steel slag // Steel Times International. – 2000. – № 2. – P. 38-40, 43.
26. Симомура Я. Чер. металлургия – лидирующая отрасль по оборотному использованию ресурсов / Tekko Kai – Iron and Steel Industry. – 1998. – № 11. – С. 11-15.
27. Euroslag: Legal status of slag (position paper), Jan. 2006.
28. Найдек, В.Л. Богушевский, В.С. Переработка и использование сталеплавильных шлаков / В.Л. Найдек, В.И. Курпас, С.Г. Мельник// Металл и литье украины. – 2013. – №3. – С. 5–7.
29. Kuhn M., Drissen P., Schrey H. Successful treatment of liquid BOF slag at Thyssen Krupp Steel works to solve the problem of volume stability / Proc. 3rd European Oxygen Steelmaking Conf. – Birmingham, U. K., Oct-Nov. 2000. – P. 521-531.
30. Цыкин Л. В., Туликов А. И. Использование конечного шлака в конвертерной плавке//Совершенствование технологии производства стали в конвертерах и мартеновских цехах. М.: Металлургия, 1985. С. 5–7.
31. Использование твердого оборотного шлака при выплавке стали из низкомарганцовистого чугуна в конвертере /Ю. И. Гладилин, С,

С. Бродский, Ю. Ф. Брагинец и др. // Черная металлургия. М., 1985. Вып. 22. С. 40—41.

32. Использование твердого оборотного шлака при выплавке стали из низкомарганцовистого чугуна в конвертере / С.Д. Зинченко, Ю.А. Пак, Ю.И. Жаворонков и др. // Черная металлургия. М., 1983. Вып. 10. С. 35.

33. Mihok L., Fedicova D. Recycling of demetallized steelmaking slag into charge of basic oxygen converter // Metallurgija. – 2000. – № 2. – С. 93-99.

34. Использование раскисленных конвертерных шлаков для рафинирования стали в ковше / Ю. И. Брагинец, А. В. Жир и др. // Бюл. научно-техн. информации. Черная металлургия. – Вып. 3 (863). – 1980. – С. 25.

35. Внепечная десульфурация стали жидким раскисленным конвертерным шлаком / С. Г. Мельник, О. В. Носоченко, Н. Н. Кулик и др. // Металлург. – 1985. – № 9. – С. 17-18.

36. Баптизманский В.И. Организация эксперимента / В.И. Баптизманский, Ю.Н. Яковлев, Ю.С. Паниотов. – Київ: УМК ВО, 1992. – 244 с.

37. Теорія металургійних процесів: Підручник / В.Б. Охотський та ін. – К.: ІЗМН, 1997. – 512 с.

38. Закон України "Про охорону праці". Верховна Рада України; Закон від 14.10.1992 № 2694-XII – К.: Основа, 1993.

39. ДСН 3.36.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Держстандарт, 1999.

40. ГОСТ 12.1.005-88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1990.

41. СН № 2527-82. Санитарные правила для предприятий черной металлургии. – М.: МинздравСССР, 1982.

42. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. Изменения 1989.
43. ДСНЗ.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999.
44. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
45. СНиП II - 4 - 79/85. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1985.
46. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінбуд. України, 2006.
47. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2001.
48. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
49. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
50. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация, 1981.
51. ГОСТ 12.1.030 – 81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Изменения 1987.
52. СНиП 2.09.02-85. Производственные здания. – М.: Госстрой СССР, 1991.
53. ОНТП 24-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывной и пожарной опасности, 1986.
54. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы. – М.: Стройиздат, 1986.
55. СН 305 - 77. Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1978.