



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 параметрів киснево-конвертерної
плавки на процес розкислення і легування сталі з метою
підвищення ступеня застосування феросплавів»**

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

Консультант від
бази практики

Євген БРАГІНЕЦЬ

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

Здобувач

Філіп ХАРЧУК

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

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП Металургія сталі

Христина МАЛІЙ

«05» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Харчука Філіпа Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Визначення впливу параметрів киснево-конвертерної плавки на процес розкислення і легування сталі з метою підвищення ступеня застосування феросплавів
керівник роботи Стоянов Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент
(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 процесів розкислення і легування сталі. Методи покращення ефективності застосування феросплавів. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи конвертора. Визначення взаємозв'язків впливу параметрів конвертерної плавки на процеси розкислення і легування сталі при випуску плавки і позапічної обробки. Розробка рекомендацій по підвищенню ступеня застосування феросплавів». Розділ 3. Охорона праці. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): не менше 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

Філіп ХАРЧУК

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичні дослідження процесів розкислення і легування сталі	5
1.1 Способи розкислення сталі	5
1.2 Способи легування сталі	7
1.2 Сучасні виклики і перспективи	9
2 Аналіз впливу параметрів конвертерної плавки на процеси розкислення і легування сталі	17
2.1 Огляд технології розкислення і легування сталі на ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».....	17
2.2 Статистичний аналіз технологічних параметрів та показників виплавки та розкислення і легування сталі марки ЗПС	20
2.3 Рекомендації щодо підвищення ефективності розкислення і легування сталі на випуску з конвертера.....	35
Розділ 3 Охорона праці.....	37
3.1 Загальна характеристика умов праці	37
3.2 Техніка безпеки та пожежна профілактика	40
3.3. Захист навколишнього середовища.....	43
4 Економічний розділ	45
4.1 Обґрунтування економічного ефекту від запропонованих заходів..	45
4.2 Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності	46
Висновки.....	49
Перелік літературних джерел.....	50
Додатки.....	56

ВСТУП

Світова і вітчизняна практика виробництва напівспокійних сталей має в своєму розпорядженні широкий арсенал технологій виробництва різних марок напівспокійної сталі.

Потреби, що ростуть в світі, в прокаті чорних металів викликають необхідність максимальної економії металу на шляху від злитка до готового прокату і його здешевлення.

Заміна спокійних сталей напівспокійними дозволяє збільшити пропускну спроможність цехів підготовки складів і розливних прольотів, понизити витрату розкислювачів, а також в порівнянні із спокійною понизити витрати на підготовку складів.

В даний час в світі проводиться до 20% напівспокійної сталі від загального об'єму виробництва. Напівспокійна сталь завдяки своїй близькості до структури спокійною знайшла широке застосування в різних галузях народного господарства. В даний час ведуться роботи по поліпшенню якості напівспокійної сталі і удосконаленню технології виробництва напівспокійних марок стали.

1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗКИСЛЕННЯ І ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ

Виробництво сталі піддавалося постійному вдосконаленню завдяки новим технологіям розкислення і легування, які визначають якість та характеристики готової продукції, роблячи її більш витривалою, міцною і адаптованою до різноманітних умов використання. В сучасному світі, де вимоги до матеріалів постійно зростають, розкислення і легування сталі стають ключовими компонентами виробництва високоякісних металевих конструкцій.

В сукупності розкислення та легування визначають основні характеристики сталі, дозволяючи створювати матеріал з оптимальним балансом міцності, стійкості та обробної здатності, що робить його невід'ємною частиною сучасної промисловості та технологічного розвитку.

1.1 Способи розкислення сталі

Розкислення киснево-конвертерної сталі є ключовим етапом виробництва, спрямованим на видалення зайвого кисню та неметалевих включень, що впливає на якість та характеристики металу. Розкислення сталі проводять осаджуючим методом у ковші під час випуску. У конвертер розкислювачі не вводять, щоб уникнути їх великого чаду. Спокійні сталі зазвичай розкислюють марганцем, кремнієм та алюмінієм, на окремих марках сталі додатково застосовують титан, кальцій та інші сильні розкислювачі. Киплячу сталь розкислюють одним марганцем.

Існує кілька основних способів розкислення сталі, кожен з яких має свої переваги та області застосування: глибинне; дифузійне; обробкою синтетичними шлаками; обробкою вакуумом [1-3].

Глибинне, або осаджуюче, розкислення полягає в переведенні розчиненого в сталі кисню в нерозчинний оксид введенням у метал

металу-розкислювача. Елемент-розкислювач має характеризуватися більшою спорідненістю до кисню, ніж залізо. В результаті реакції утворюється малорозчинний в металі оксид, щільність якого менша за щільність сталі. Отриманий таким чином "осад" спливає в шлак, звідси назва методу "осаджуючий". В якості розкислювачів зазвичай застосовують феромарганець, феросиліцій, алюміній, сплави рідкісноземельних металів та ін. При цьому в методі розкислення неможливо отримати сталь абсолютно чисто від неметалевих включень [1, 4].

При дифузному розкисленні розкислювач вводять у шлак для зниження активності (FeO). У тих випадках, коли метал не кипить між значеннями активності кисню в металі і шлаку існує певне відношення $a_{(\text{FeO})}/a_{[\text{O}]} = \text{const}$. Відповідно, будь-який спосіб зменшення активності оксидів заліза в шлаку призводить до зниження окисленості металу. Однак недоліком цього методу є повільна швидкість дифузії кисню, що призводить до збільшення тривалості процесу плавлення.

Спосіб розкислення металу при обробці його синтетичним шлаком, що не містить оксидів заліза, полягає в перемішуванні ванни металу зі шлаком при випуску в ківш. Приготування синтетичних шлаків пов'язане з певними витратами (на придбання сировини, будівництво та експлуатацію спеціального агрегату для їх розплавлення), проте ці витрати окупаються деяким скороченням тривалості плавки сталі в сталеплавильному агрегаті та, головне, підвищення якості сталі [3].

Обробка металу вакуумом з метою розкислення заснована на використанні дії, що розкислює, розчиненого в рідкій сталі вуглецю. Зниження тиску призводить до зменшення концентрації кисню в металі, а також деякого зниження концентрації вуглецю. Існує навіть термін "вуглецево-вакуумне" розкислення або просто "вуглецеве" розкислення. Під цим розуміється видалення з металу кисню при зниженні тиску (при вакуумуванні) внаслідок реакції з вуглецем. Слід мати на увазі, що при

обробці металів вакуумом одночасно з руйнуванням оксидних включень видаляються також розчинені в них азот і особливо водень [5].

Ці методи розкислення можуть використовуватися окремо або комбінуватися в залежності від конкретних вимог до сталі та технологічних особливостей виробництва. Вибір конкретного методу залежить від обсягу виробництва, вимог до якості та вартості процесу.

1.2 Способи легування сталі

Виробництво легованих сталей у кисневих конвертерах стикається з серйозними викликами, оскільки більшість елементів, що вносяться для легування, неможливо вводити в конвертер через можливість їх повного чи часткового окиснення. У випадку введення в ківш кількість добавок обмежена, оскільки це може призвести до надто швидкого охолодження рідкої сталі і нерівномірного розподілу введених елементів у об'єм рідкого металу. Легування тільки тими елементами, які мають менше хімічної спорідненості до кисню, ніж залізо, і які не окислюються при введенні в конвертер (нікель, мідь, молібден, кобальт), не представляє складнощів; їх частіше вводять в конвертер як частину шихти. Легування іншими елементами здійснюють у ковші застосуванням наступних методів [6].

Легування твердими ферросплавами є найбільш широко використовуваним і простим методом. У цехах, де відсутні установки позапічної обробки сталі, всі легуючі елементи вводять у ківш під час випуску металу. При цьому ферросплави з елементами, які мають високу хімічну спорідненість до кисню, а також з ванадієм і ніобієм, вводять у ківш після введення всіх розкислювачів. Часто для легування хрому використовують феррохром, але краще використовувати екзотермічний феррохром, розчинення якого в рідкому металі відбувається без

тепловитрат, або силікохром, який менше температурний, ніж феррохром, і вимагає менше тепловитрат для розчинення.

Для підвищення ступеня засвоєння широке застосування знайшов спосіб введення алюмінію обсяг металу у вигляді дроту за допомогою трайб-апарата. В той час, як рекомендується вдувати в метал у струмені аргону (наприклад, кальцій), вводити у вигляді дроту, що має сталеву оболонку та наповнювач з легуючого елемента [3].

У процесі позапічної обробки проводять відбір проб металу і на підставі результатів аналізу проводять коригування змісту легуючих елементів, що вводяться. Завдяки перемішуванню металу в процесі позапічної обробки рівномірний розподіл елементів в обсязі ковша досягається при введенні добавок у кількості до 3-4% [7].

Спосіб легування рідкими феросплавами полягає в тому, що при випуску сталі з конвертера в ківш заливають добавки, що легують, попередньо розплавлені в індукційній або дугової електропечі. Метод дозволяє вводити в сталь велику кількість легуючих, але має істотний недолік - необхідно мати в цеху додатковий плавильний агрегат, що ускладнює організацію робіт у цеху.

Легування екзотермічними феросплавами виконується наступним чином: брикети феросплавів вводять до ковша перед випуском сталі, до складу якої, крім дрібно подрібнених вказаних легуючих елементів (ферохрому, феромарганцю тощо), входять окислювачі (наприклад, натрієва селітра), відновлювач (порошок) та зв'язуючі речовини (кам'яновугільний порошок і так далі). Під час розчинення брикетів у сталі алюміній окислюється за рахунок кисню, який міститься в натрієвій селітрі; виділяється тепло, яке витрачається на розплавлення легуючих елементів. Цей метод успішно використовується для введення до сталі близько 4% легуючих елементів. Однак спосіб не знаходить широкого застосування через труднощі організації виробництва брикетів [8].

Специфічною особливістю елементів, які використовуються для мікролегування, є їх висока хімічна активність. Це означає, що вони можуть взаємодіяти безпосередньо з киснем, азотом, воднем, сіркою та іншими небажаними домішками у розплаві, нейтралізуючи їх шкідливий вплив.

1.2 Сучасні виклики і перспективи

У процесі конвертерної плавки сталь розкислюють та легують у ковші марганцем, кремнієм, алюмінієм, титаном і хромом; мідь і нікель вводять у конвертер. Розміри шматків феросплавів не перевищують 100 мм. Для всіх марок сталі додавання розкислювачів і легуючих розпочинається з наповнення ковша металом на 1/5 його об'єму і закінчується досягненням рівня, що становить 3/4 від його висоти. Киплячу сталь розкислюють феромарганцем з вмістом кремнію, який не перевищує 1,5%. Для розкислення та легування низько- і середньолегованих сталей застосовується наступна послідовність присадок: термоантрацит (у разі потреби вуглецювання металу), феромарганець, силікомарганець, феросиліцій, алюміній, ферованадій, фероніобій, феротитан, азотований феромарганець, силікокальцій [9].

На думку авторів [10] однією з причин формування дефектів таких як дрібні смуги та полони на поверхні тонколистового прокату є наявність неоднорідностей, що з оксидними неметалевими включеннями (скупчення частинок корунду чи комплексних оксидів).

За даними наведеними авторами [11] до зниження ймовірності формування дефектів, пов'язаних з неметалевими включеннями, веде зниження активності розчиненого кисню до величин менше 750 ppm і, як наслідок, зниження витрати алюмінію на розкислення та кількості утворених кластерів корунду.

У статті виконано аналіз ефективності розкислення сталі різними матеріалами. Наведено дані дослідно-промислових плавок, та запропоновано раціональні варіанти та технології введення розкислювачів з метою отримання якісного металу. Для виробництва середньо- і високовуглецевих сталей рекомендується використовувати менш економічний, але такий, що дозволяє вводити до сталі додаткову кількість вуглецю способом розкислення рідкими лігатурами. Зазначено, що осаджуючий спосіб, і спосіб розкислення сталі порошкоподібними розкислювачами більш економічний. Найнижчий чад отримано при розкисненні сталі порошкоподібними матеріалами: чад кремнію - 14,2, марганцю - 0, алюмінію - 94% [12].

В роботі [13] зазначено, що титан – активний розкислювач сталі, та з вуглецем утворює високотемпературні дрібнодисперсні карбіди, а з азотом такі ж нітриди. І карбіди, і нітриди титану слугують додатковими центрами кристалізації і суттєво впливають на процеси структуроутворення у високолегованих сталях, подрібнюючи первинне зерно. Одночасно утворені оксиди титану у вигляді мікроплівок збільшують кількість неметалевих вкраплень у металі і підвищують його індекс забрудненості, що погіршує механічні властивості сталі.

В роботі [14] було проведено порівняння фактичних (виробничих) і рівноважних (розрахункових) концентрацій вуглецю, марганцю і кремнію у сталі. Статистичний аналіз даних, отриманих в ході плавлення великих обсягів високовуглецевої сталі, показав, що ступінь засвоєння марганцю під час позапічної обробки коливається в широкому діапазоні від 65% до 95%, ступінь засвоєння кремнію - від 35% до 70%, а вуглецю - від 55% до 90%. Таким чином, вміст вуглецю, кремнію і марганцю під час обробки варіюється широко, що підтверджує необхідність знань про окисленість кожної конкретної плавки для отримання сталі з визначеним вмістом елементів в стислих межах.

Авторами роботи [15] проаналізовано вплив присадок вуглецю, кремнію та марганцю на активність розчиненого кисню, а також на засвоєння алюмінію при розкисленні вуглецевих та низьколегованих марок сталі, що виплавляються у 160-тонних конвертерах. Встановлено, що при виплавці вуглецевих та низьколегованих сталей доцільно використання даних про активність кисню для нормування витрати алюмінію та його сплавів. Запропоновано та випробувано рекомендації щодо нормування витрати алюмінієвмісних матеріалів з урахуванням присадок вуглець-, кремній- та марганецьвмісних феросплавів.

З метою зниження витрати та чаду розкислювачів і феросплавів, а також зниження та стабілізації окисленості, поліпшення якості сталі та зменшення її собівартості авторами роботи запропоновано використовувати попереднє розкислення розплаву в конверторі або сталерозливному ковші. Одним з таких способів зниження переокисленості є попереднє розкислення сталі вуглецевмісними матеріалами [16, 17].

В роботі [18], авторами було проаналізовано умови розкислення та позапічної обробки низькокремністої сталі. Встановлено зростання розмаху варіювання активності кисню в конвертері перед випуском із зменшенням масової частки вуглецю в металі. Виконано налаштування Celox для визначення вмісту вуглецю в металі стосовно умов випуску низьковуглецевих марок сталі зі сталеплавильного агрегату. Показано, що використання Celox контролю вмісту вуглецю доцільно для умов, коли величину окисленості визначає вміст вуглецю. Підготовлені та випробувані рекомендації щодо нормування витрати алюмінієвих матеріалів для розкислення маловуглецевих марок сталі. Проаналізовано вплив на вуглецювання плавки на витрату та міру засвоєння алюмінію. Показано, що при виплавці низькокремністих марок сталі з позапічної обробки без використання установки ківш-піч раціональні межі варіювання масової частки оксиду магнію в ковшовому шлаку – 6-8% мас.

Виконано аналіз термодинамічних функцій реакцій розкислення барієм рідкої сталі. Побудовані поверхні розчинності для умов розкислення рідкої сталі сплавами барію з кремнієм та алюмінієм. Показано, що реально можливий опис закономірностей розкислення барієм тільки в тому випадку, якщо константа розкислення барієм становить 10^{-4} – 10^{-5} . Внаслідок малої розчинності та великої молекулярної маси барій не може бути ефективним розкислювачем. З наявних у літературі рекомендацій щодо підбору модифікаторів, поверхневих властивостей барію в металі показано, що введений у сталь барій на заключному етапі рафінування здатний зменшувати розміри неметалевих включень та подрібнювати первинне зерно литого металу. Зроблено висновок, що барій не є ефективним розкислювачем, але може грати роль модифікатора [19–20].

Комплексне розкислення сталі ставить собі за мету вирішення низки важливих металургійних проблем, наприклад: мінімізація вмісту кисню з метою підвищення чистоти сталі по НВ; підвищення ефективності використання одного з компонентів комплексного розкислювача за рахунок його захисту іншими компонентами; зміна термочасової природи утворення і морфології НВ з метою полегшення їх видалення з металу і зменшення шкідливого впливу на властивості готової продукції. Вибір складу комплексного розкислювача і методу його використання залежить від конкретних завдань, що стоять перед металургами при розробці нової або вдосконалення існуючої технології розкислення сталі [21–23].

Авторами робіт [24–26] відмічено вплив деяких легувальних елементів на зносостійкість сплавів на основі заліза. Так, виявлено, що збільшення вмісту марганцю понад 12% сприяє наростанню схильності сталі до утворення гарячих і холодних тріщин, супроводжується помітним збільшенням розмірів зерен аустеніту під час нагрівання та гартування. Це призводить до зниження стійкості сталі до зносу, але має позитивний вплив на ударну в'язкість. Додавання хрому до сталі у межах до 3%

призводить до підвищення її стійкості до зносу на 20-30%, але спричинює зниження ударної в'язкості. Однак при подальшому зростанні вмісту хрому збільшення стійкості до зносу стає менш помітним, тому рекомендується вводити хром у кількості до 2% для марганцевої сталі. Відмічено вплив на властивості сталі через свою здатність модифікувати процеси кристалізації. Це призводить до подрібнення первинного зерна і сприяє додатковому розкисленню і деазотуванню сталі. Бор також змінює стан меж зерен і межових шарів, що позитивно впливає на властивості матеріалу. Цей елемент істотно підвищує стійкість переохолодженого аустеніту в області бейнітного і перлітного перетворення, що впливає позитивно на ударну в'язкість, міцність і зносостійкість сталі.

Авторами робіт [27-28] зазначено позитивний вплив покращення механічних властивостей і зносостійкості сталі. На 20...30 % спостерігається після введення в неї 0,5...0,6% молібдену, зносостійкість сталі також підвищується на 20...30%. Вольфрам також суттєво покращує всі механічні властивості і зносостійкість сталі, як і молібден.

Вміст кремнію в сталі рекомендується обмежувати 0,5...0,6 %, оскільки цей елемент сприяє виокремленню карбідів інших елементів на межах зерен і знижує ударну в'язкість вже при кількості його 0,15 %. Внаслідок того, що кремній досить сильно знижує теплопровідність сталі, він цим підвищує її схильність до утворення гарячих тріщин у виливках [29].

Нержавіючі сталі з високим вмістом азоту стають все більш затребуваними. Легування азотом є унікальним завданням, оскільки розчинність азоту в рідкому залізі та сплавах на його основі обмежена атмосферним тиском. Однак розчинність азоту можна підвищити за рахунок збільшення тиску газоподібного азоту над розплавом та за рахунок легуючих добавок. Сталь слід вважати «високоазотистою», якщо вона містить більше азоту, ніж може бути утримано в матеріалі при обробці при атмосферному тиску. Для феритних матеріалів ця межа становить

близько 0,08% мас. N, тоді як більшість аустенітних матеріалів він становить близько 0,4% мас.[30]

Легування азотом має ряд переваг перед легуванням вуглецем:

- азот є сильним стабілізатором аустеніту, тим самим зменшуючи кількість нікелю, необхідного для стабілізації [31];
- азот знижує схильність до утворення фериту та мартенситів, викликаних деформацією [32];
- азот має більшу розчинність у твердому стані, ніж вуглець, що знижує схильність до осадження при даному рівні зміцнення [33];
- азот корисний для стійкості до піттингової корозії [34].

Обмеження виробництва сталей з високим вмістом азоту через низьку розчинність азоту в рідких сплавах на основі заліза при атмосферному тиску було вирішено завдяки використанню технологій плавлення під тиском [35].

Технологія прямого легування сталі передбачає відновлення алюмінієм легуючого елемента з алюмінотермічних спеціальних брикетів з використанням теплоти рідкої сталі. З метою зменшення випереджувального окислення відновленого алюмінію і марних втрат при плавленні пропонується введення в брикет більш активного відновного компонента, ніж алюміній, тобто вільної вуглецеутворюючої органічної сполуки – патоки. Розроблено математичну модель процесу теплопередачі від рідкої сталі до брикету та наведено оптимізацію технологічних параметрів і системи автоматизованого керування [36].

Дослідження прямого легування сталі висвітлені в роботах [37–38]. Проводилось виробництво киплячих сталей різних типів, таких як маловуглецеві, вуглецеві, низьколеговані та леговані, з вмістом марганцю у діапазоні від 0,5% до 12%. Для відновлення використовували брикети різного складу: кремній у вигляді різних марок феросиліцію, а також кремній з алюмінієм, який вводився за допомогою сплавів АМС, крім того, використовувалися різні флюсові добавки, такі як доломіт і зола ТЕЦ. У

процесі виплавлення сталей з вмістом приблизно 0,25% Si та 0,4-0,5% Mn використання брикетів дозволяє повністю уникнути використання марганцевих феросплавів.

Іноді для легування і розкислення сталі використовують так звані екзотермічні брикети. Такі брикети включають в себе оксиди, які містять легуючі елементи, такі як оксиди хрому або марганцеві руди, порошкоподібні розкислювачі та відновники, такі як алюміній або магній, і окислювачі, наприклад, селітра. Під час випуску металу в ківш, в який завантажені такі брикети, вони запалюються, і внаслідок реакції між відновниками та окислювачами вивільнюється необхідна кількість тепла. Легуючі домішки, що містяться у складі оксидів, піддаються відновленню. Важливо відзначити, що в процесі застосування цього методу метал не охолоджується, що робить його ефективним для легування сталі [39].

Для прямого легування сталі марганцем та виготовлення феросплавів широко використовуються різноманітні матеріали які містять марганець, такі як марганцеві руди та концентрати вітчизняних та зарубіжних родовищ, первинні малофосфористі марганцеві шлаки, а також різні вторинні марганецьвмісні матеріали, такі як шлак та пил газоочищення. Одним з ключових джерел марганцю є марганцеві руди та концентрати, які добуваються як на внутрішніх, так і на міжнародних родовищах. За їх запасами Україна посідає 2 місце в світі, після ПАР, забезпечуючи 32% світового виробництва марганцевих сплавів [40]. В той час як руди з-за кордону характеризуються високою якістю, а саме великим вмістом марганцю та низьким вмістом фосфору. Однак вони є вищою за ціною у порівнянні з вітчизняними рудами. Використання таких іноземних руд також призводить до незначного зниження вартості брикетів для прямого легування.

Цей комплексний підхід до вибору та використання різноманітних джерел марганцю в металургійній промисловості не лише гарантує необхідні хімічні характеристики для легування сталі, але й сприяє

сталому та раціональному використанню природних ресурсів у сучасних виробничих умовах.

Висновки по розділу

Проведений аналітичний огляд сучасних технологій позапічної обробки сталі, вказав, що на теперішній час розкислення і легування сталі є не лише традиційними, але й вкрай важливими етапами виробництва металу, що визначають його якість та функціональні характеристики.

Спостерігається високий рівень технологічного розвитку в цій галузі, а також систематичні зусилля для вдосконалення процесів виробництва. Сучасні технології розкислення використовують різні методи, серед яких особливе значення має глибинне розкислення та дифузійне розкислення.

Важливість розкислення і легування сталі полягає в наданні металу покращених властивостей, забезпечуючи витривалість, міцність та адаптованість до різноманітних умов використання. Тому проведення досліджень з метою визначення впливу параметрів киснево-конвертерної плавки на процес розкислення і легування сталі задля оцінки підвищення ступеня застосування феросплавів в умовах ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ" є досить актуальною задачею.

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

В Законі України «Про охорону праці» визначено, що умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, роботи машин, механізмів, обладнання та устаткування, наявність та стан засобів колективного та індивідуального захисту, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів з охорони праці.

Темпи росту виробництва стали та її якість в конверторах швидко зростають, а умови праці робітників конверторних цехів важкі та шкідливі. Тому в даному розділі розглянуто основні шкідливі фактори і небезпечності при виконанні робіт, заходи техніки безпеки, пожежної профілактики, екологічної безпеки для конверторного цеху.

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, · 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 [45] 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 [46]. 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 [47] 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».

У цеху існує небезпека ураження електричним струмом. Ділянка за ПУЕ [48] 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 [49] 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 [50] мають 2 ступінь вогнестійкості.

Пожежі в приміщенні можуть виникнути в результаті:

- загорання електроустаткування при перевантаженнях, перегрівах 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 сталерозливочного ковшу, протікання металу між плитами шибберного 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 [51] 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 окиси 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 [52].

ВИСНОВКИ

Розглянуто методи розкислення і легування сталі, що використовуються на вітчизняних і закордонних металургійних підприємствах. Здійснено огляд та оцінку ефективності діючих та перспективних методів розкислення і легування сталі.

Розглянуто технологію розкислення і легування сталі в умовах ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», яка включає 2 етапи: розкислення сталі на випуску з конвертера в ківш та при позапічній обробці на установці ківш-піч. За виробничими даними проаналізовано вплив параметрів конвертерної плавки та позапічної обробки сталі на ступінь засвоєння феросплавів. Запропоновані наступні заходи для підвищення ступеня засвоєння феросплавів:

- розглянути економічну доцільність підвищення цільового вмісту вуглецю в сталі на випуску до певної оптимальної величини;
- скоротити частку передутих плавок;
- дотримуватися нижчої з рекомендованих меж по тривалості випуску сталі.
- застосовувати на всіх плавках відсікання шлаку на випуску сталі з конвертера.

Запропоновані заходи дозволять підвищити ступінь засвоєння кремнію до-.....%, а марганцю – до-.....%.

Водночас їх застосування не несе шкоди працівникам цеха та навколишньому середовищу.

Плановий економічний ефект від впровадження заходів, що полягає у скороченні питомої витрати феросплавів на розкислення і легування сталі, скороченні витрати кисню на продувку та зменшенні частки чавуну в металошихті для виробництва сталі марки ЗПС складає млн. грн. на рік.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко Б.М. Конверторне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-Вал», 2004. – 454 с.
2. Охотський В.Б. Диспергування в сталеплавильних системах / В.Б. Охотський. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2006. – 28 с.
3. Воскобойников В.Г., Общая металлургия [Текст]: учебник для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев - 6-изд., перераб и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. - 768 с.
4. Impact on Non-Metallic Inclusions and Characterization Methods / Cécile Nicolai, Jean-François Cartonb, Alexis Vauchereta, Philippe Jacquet // Journal Deoxidation of Casting & Materials Engineering. – 2017. – Vol. 17. – №4. – P. 97-102.
5. Самарин М.А. Вакуумная металлургия / А.Ю. Поляков // Термодинамические основы применения вакуума в процессах производства стали и сплавов. – М.: Металлургиздат, 1962. – С. 7-75.
6. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с.
7. Metallurgist.pro. Научно-технический портал о металлургии, горной промышленности, машиностроении, обработке металлов, энергетике. Режим доступа: (https://metallurgist.pro/raskislenie-i-legirovanie-kislородno-konverternoj-stali/#raskislenie_stali)
8. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.

9. Мальцов А.Н. Внепечная обработка металлических расплавов. Киев, 1986. 201 с.
10. Lifeng Zhang, Brian G. Thoma (2003). State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness. *ISIJ International*. Vol. 43, no 3, pp. 271-291.
11. Sanam V., Patra P. K., Siddabathula S., Das R., Usharani V. (2009). Reduction of Slivers due to Non-Metallic Inclusion in Continuous Casting. *Materials Science & Technology 2009*. October 25-29, 2009: Pittsburgh, PA. – AIST Steel Properties / Applications Conference Proceedings, pp. 235-246.
12. Харлашин, П.С. Разработка рациональной технологии раскисления спокойных марок стали / П.С. Харлашин, О.А. Носенко, А.Н. Яценко // Вісник приазовського державного технічного університету. – 2011. – №2. – С. 52–55.
13. Ковальчук О.Г. Особливості виготовлення виливків з диференційними властивостями поверхні: дис. на здоб. науков. ступ. канд. тех. наук: 05.16.04 / Ковальчук Олександр Григорович; Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського. – Київ, 2019. – 142 с.
14. Денисенко, А.А. Можливість економії розкислювачів і легуючих добавок при виробництві високовуглецевої сталі / А.А. Денисенко, А.А. Надточій // Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів і молодих учених. Дніпро, 2017. – С. 38-39.
15. Ларионов, А.А. Совершенствование технологии комплексного раскисления конвертерной стали кремнием, марганцем и алюминием / А.А. Ларионов, Э.Н. Шибаниц, В.В. Климанчук, М.Н. Якин, А.В. Цюцюра, Е.А. Чичкарев // *Металл и литье Украины*. – 2012. – №2-3. – С. 23–27.
16. Sheremet V. A. et al. (2006). Raskislenie malouglerodistoi konverternoi stali. [Desoxydating of low-carbon converter steel]. *Steel*, no 4, pp. 23-25.
17. Bashlii F. I., Systerov A. V. (2007). Mezhfaznoe raspredelenie ugleroda prisadki dlia predvaritel'nogo raskisleniia plavki. [Interphase

distributing of the carbon additive for the predesoxydating of melting]. Izvestia Vuzov. Ferrous Metallurgy, no 11, pp. 29-31.

18. Писмарев, К.Е. Совершенствование технологии раскисления и внепечной обработки низкокремнистых марок стали / К.Е. Писмарев, Е.А. Чичкарев, В.А. Алексеева, К.Е. Чичкарев // *Металл и литье Украины*. – 2017. – №1. – С. 43–48.

19. Шульга, В.О. Повышение эффективности комплексного раскисления стали / В.О. Шульга // *Технология органических и неорганических веществ*. – 2012. – №5. – С. 36-38.

20. Гунько, И. М. Анализ техногенных источников и технологических схем производства пентаоксида ванадия / И. М. Гунько, И. Ф. Червоний, С. Г. Егоров // *Металургія*. — Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2011. — Вип. 25. — С. 59—67.

21. Аменова А. А., Качественные показатели стали RRSt 37-2 раскисленной комплексным ферросплавом ферросиликоалюмобарием [Электронный ресурс] / А. А. Аменова, А. Х. Нурумгалиев, Д. У. Смагулов // Режим выборки: <http://vestnik.kazntu.kz/files/news-http://vestnik.kazntu.kz/files/news-://vestnik.kazntu.kz/files/news-vestnik.kazntu.kz/files/news-.kazntu.kz/files/news-kazntu.kz/files/news-.kazntu.kz/files/news-kz/files/news-/files/news-files/news-/news-news-papers/46/1324/1324.pdf>. – 22.11.2012

22. Pat. US5868875 United States. Int. Cl.6 C21D 8/02; C22C 38/28. Non-ridging ferritic chromium alloyed steel and method of making [Электронный ресурс] / Eizo Yoshitake, Alan R. McKague. – Date of Patent: Feb. 9, 1999. – Режим выборки: <http://www.google.com.ua/patents/US5868875>. – 20.11.2012.

23. Pat. US6511553 United States. Int. Cl.7 C22C 3S/06; C22C 38/14. Steel for steel excellent in workability and method of deoxidizing same [Электронный ресурс] / Junji Nakashima, Takashi Sawal, Mitsuo Uchimura, Wataru Yamada, Shigenori Tanaka, Yasuharu Sakuma, Akinobu Murasato. –

Date of Patent: Jan. 28, 2003. – Режим выборки:
<http://www.google.ru/patents/US6511553>. –20.11.2012

24. Гудремон Э. Специальные стали. Т.1. – М.: Metallurgy, 1966. – 736 с.

25. Эмингер З., Вебер К. Производство отливок из специальных сталей. – М.: Mashgiz, 1960. – 141 с.

26. Никулин С. А. Материаловедение. Специальные стали и сплавы / С. А. Никулин. – М: МИСиС, 2013. – 123 с.

27. Золоторевский В. С. Металловедение. Том 2. Термическая обработка. Сплавы / В. С. Золоторевский. – 2014. – 528 с.

28. Зеликман А. Н. Вольфрам / А. Н. Зеликман, Л. С. Никитина. – М: Metallurgy, 1978. – 272 с.

29. Браун М. П. Влияние легирующих элементов на свойства стали / М. П. Браун. – Киев: Гостехиздат УССР, 1962. – 192 с.

30. Speidel, M.O. Properties and applications of high nitrogen steels, in J. Foct and A. Hendry (eds.), HNS 88, Lille, France, May 1988, The Institute of Metals, London, 1989, p. 92.

31. E. Werner, Mater. Sci. Eng. A, 101 (1988) 93.

32. R.P. Reed, J. Metals, March (1989) 16.

33. M. Kikuchi, M Kajihara and K. Frisk, Solubility of nitrogen in austenitic stainless steels, in J. Foct and A. Hendry (eds.), HNS 88, Lille, France, May 1988, The Institute of Metals, London, 1989, p. 63.

34. M.O. Speidel and R.M. Pedrazzoli, Mater. PerJorm., 31 (1992) 59.

35. J.W. Simmons (1996). *Overview: high-nitrogen alloying of stainless steels.* , 207(2), 159–169. doi:10.1016/0921-5093(95)09991-3

36. Innovatory Technology of Direct Steel Alloying and Ways of its Development / Gigo Jandieri, David Sakhvadze, Giorgi Tavadze, Temur Surguladze // BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. – 2011. – Vol. 5., №1. – pp. 84–88.

37. Нохрина О.И. Ресурсосберегающая технология легирования стали марганцем в ковше / Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2003. №12. С.23-25.
38. Нохрина О.И., Комшуков В.П., Дмитриенко В.И. Рациональное использование марганцевого сырья / Металлург. 2004. №6. С.52-53.
39. Общая металлургия: учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Академкнига, 2002. – 768 с.
40. NovaGeografia. Нова географія для вас. Режим доступу: (<http://www.novageografia.com/vogels-1719-2.html>)
41. 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.
42. Обработка стали на установке «печь-ковш». Технологическая инструкция: ТИ-230-С456-19; Затв. Директор з якості-начальник управління якості продукції 26.04.2019; Термін дії з 15.05.2019 до 15.05.2024 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – Кам'янське, 2019.– 79 с.
43. Баптизманский В.И. Организация эксперимента / В.И. Баптизманский, Ю.Н. Яковлев, Ю.С. Паниотов. – К.: УМК ВО, 1992. – 244 с.
44. Теорія металургійних процесів: Підручник / В.Б. Охотський, О.Л. Костьолов, В. К. Сімонов та ін. – К.: ІЗМН, 1997. – 512 с.
45. ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. – М.: Издательство стандартов, 1988.
46. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188 (дата доступу: 31.12.2023).

47. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвук та інфразвук. – К.: Держстандарт, 1999.
48. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ-2009. – Х.: Форт, 2009.
49. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016.
50. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіон, 2017.
51. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. - К.:Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій, 2014
52. Перистый М.М., Кравченко А.В., Раджи О.И. Проблемы повышения экологической безопасности конвертерного производства. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2006/fizmet/klutkina/library/article4.htm> (дата доступу: 31.12.2023).
53. «Каметсталь» за підсумками 2022 року виробила 1,56 млн т сталі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gmk.center/ua/news/kametstal-za-pidsumkami-2022-roku-virobila-1-56-mln-t-stali/> (дата доступу: 01.01.2024).