

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП



Сергій СЕМІРЯГІН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

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

**на тему «Дослідження впливу параметрів обробки сталі на
установці ківш-піч на ефективність десульфурації металу»**

Керівник роботи

Костянтин НІЗЯЄВ

Наставник від бази
практики

Валерій КОСИХ

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

Здобувач

Юрій ЗЕЛЕНИЙ

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

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____Сергій СЕМІРЯГІН

25 грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Зеленому Юрію Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження впливу параметрів обробки сталі на установці ківш-піч на ефективність десульфурзації металу
керівник роботи Нізяєв Костянтин Георгійович, проф., докт. техн. наук.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №238/14.10.2024 від 14.10.2024 р
2. Термін подання роботи: 15 лютого 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики сталеплавильного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «Каметсталь» м. Кам'янське.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження технології обробки сталі на кстановці «ківш-піч». Фізико-хімічні закономірності десульфурзації сталі. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи установки ківш-піч ПрАТ «Каметсталь». Визначення взаємозв'язків між технологічними параметрами обробки сталі на установці ківш-піч та її результатами.. Розділ 3. Охорона праці в конверторному відділенні. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 6-7 слайдів по розділам 1,2; 1 слайд по розділу 3; 1 слайд по розділу 4.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Нізяєв К.Г., професор
Розділ 2	Нізяєв К.Г., професор
Розділ 3	Нізяєв К.Г., професор
Розділ 4	Латишева О.В, доцент

7. Дата видачі завдання 25.12.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2024-03.01.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	03.01.2025-23.01.2025
3	Розділ 3. Охорона праці	23.01.2025-26.01.2025
4	Розділ 4. Економічний розділ	26.01.2025-30.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	30.01.2025-03.02.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-05.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	05.02.2025-15.02.2025
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	15.02.2025-20.02.2025

Здобувач

Юрій ЗЕЛЕНИЙ

Керівник роботи

Костянтин НІЗЯЄВ

АНОТАЦІЯ

Зелений Юрій Анатолійович. Дослідження впливу параметрів обробки сталі на установці ківш-піч на ефективність десульфурації металу.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія сталі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єктом дослідження є технологія десульфурації сталі на установці «ківш-піч».

Предметом дослідження є взаємозв'язок між технологічними параметрами обробки сталі на установці ківш-піч та ефективністю процесу десульфурації.

У першому розділі проаналізовано ефективність відомих технологій позапічної обробки сталі. Надано загальну характеристика методам позапічної десульфурації сталі. В результаті встановлено, що раціональні параметри обробки можуть дещо відрізнятися на різних підприємствах. Тому в рамках кваліфікаційної роботи планується досліджувати вплив параметрів обробки сталі на ефективність десульфурації сталі в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

У другому розділі проведено статистичний аналіз паспортів плавок, за результатами якого визначено вплив параметрів обробки на ефективність десульфурації сталі, обґрунтовано та наведено рекомендації до впровадження у технологію виробництва сталі.

У третьому розділі розглянуто основні шкідливі фактори і небезпечності при виконанні робіт з обробки сталі у відділенні позапічної обробки, розроблені заходи для їх усунення або зменшення, розроблена пожежна профілактика для відділенні позапічної обробки.

У четвертому розділі виконано оцінку економічної ефективності запропонованих заходів.

ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ, ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ, УСТАНОВКА «КІВШ-ПІЧ», СІРКА, СТАЛЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПОЗАПІЧНОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ СТАЛІ.....	6
1.1 Задачі позапичної обробки сталі	7
1.2 Обробка сталі синтетичними шлаковими сумішами	9
1.3 Продувка сталі інертним газом.....	10
1.4 Обробка сталі рідко- та лужноземельними металами (РЗМ і ЛЗМ)	11
1.5 Комплексні методи обробки сталі	14
1.6.Склад шлаку для позапичної десульфуратції	18
1.7. Шлакоутворюючі матеріали та їх використання	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	27
2.1 Методика статистичного аналізу	27
2.2 Результати статистичного аналізу	35
2.3 Рекомендації до впровадження у виробництво.....	43
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
3.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки.....	44
3.2 Заходи поліпшення умов праці.....	49
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	53
4.1 Обґрунтування економічної ефективності проектного варіанту ..	53
4.2 Визначення економічного ефекту від запропонованих заходів ...	54
Висновки за розділом	57
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ВСТУП

Обробка сталі на установці ківш-піч (УКП) є одним із ключових етапів виробництва високоякісного металу, оскільки дозволяє досягти необхідного хімічного складу металу, здійснити рафінування металу від неметалевих включень і синхронізувати процеси виплавки та безперервного розливання сталі. Однією з найважливіших задач цього етапу є ефективне видалення сірки з металу, оскільки її підвищений вміст негативно впливає на механічні властивості сталі, знижуючи її пластичність, ударну в'язкість та корозійну стійкість.

Процес десульфурації сталі на УКП відбувається внаслідок реакції розчиненої в металі сірки з основними оксидами шлаку, зокрема CaO , з утворенням стійких сульфідів, які переходять у шлакову фазу. Ефективність цього процесу визначається низкою технологічних параметрів, серед яких: температура металу, склад і фізико-хімічні властивості шлаку, інтенсивність та тривалість продувки аргоном. Відповідне регулювання цих факторів дозволяє підвищити ступінь десульфурації та забезпечити стабільність металу за вмістом сірки.

Тому актуальною задачею для подальшого дослідження є оцінка впливу основних параметрів обробки сталі на УКП в умовах діючого виробництва на ефективність десульфурації металу. Особлива увага приділена вивченню ролі інтенсивності продувки аргоном, оскільки вона безпосередньо впливає на масообмінні процеси між шлаком і металом. Отримані результати дозволять оптимізувати параметри обробки сталі та підвищити ефективність десульфурації у промислових умовах.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПОЗАПІЧНОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ СТАЛІ

Постійно зростаючі вимоги до якості сталі, а також до зниження енергетичних і сировинних витрат на її виробництво, в деяких випадках не можуть бути задоволені при звичайній виплавці сталі в конвертері, ДСП, мартенівській чи двованній печі. Це призвело до розробки нових прогресивних процесів, які здійснюються в ковші чи в спеціальних агрегатах позапичної обробки металу [1].

Термін «позапична обробка сталі» почали застосовувати у другій половині 20-го сторіччя, у зв'язку з широким використанням рафінування рідкого металу в ковші вакуумом, шлаками, продувкою нейтральними газами, подачі порошкової проволочки та підігріву сталі у ковші електродами. Обумовлено це було тим, що проведення у сталеплавильних агрегатах операцій видалення з металу сірки, водню, кисню, азоту та неметалевих включень до необхідних величин, необхідна для виконання глибокого видалення вуглецю зі сталі, корегування хімічного складу металу та підігріву його до оптимальних температур потребують збільшення тривалості плавок та призводять до зменшення виходу придатного, погіршення техніко-економічних показників, а у певних випадків є практично неможливими [2].

Позапична обробка сталі є невід'ємною, а інколи – ключовою ланкою в сучасних технологічних процесах одержання якісної сталі. На сьогоднішній день такій обробці в тому або іншому ступені піддається більше 80 % всієї сталі, яка виплавляється в розвинених країнах або понад 500 млн. т на рік [3]. Найбільш широко позапична обробка використовується при виробництві сталі для підшипників, високоміцних конструкційних марок для потреб суднобудування, газонафтового комплексу (особливо для виробів, що працюють в умовах Півночі) флокеночутливою, з особливо низьким вмістом вуглецю й неметалічних

включень для автомобільної промисловості, електротехніки, високохромистих корозійностійких сталей і сплавів.

Більш ніж 30-тирічний досвід активного застосування методів позапічної обробки дозволяє констатувати, що за рахунок цього вдалося підвищити ефективність процесів виробництва сталі, а в деяких випадках (виробництво тонких слябів, пряма прокатка) здійснити технологічний процес [4].

1.1 Задачі позапічної обробки сталі

Важливою задачею позапічної обробки нерафінованої сталі є її доведення за хімічним складом, температурою розливки та ступенем чистоти. Першочергові задачі:

- досягнення необхідного хімічного складу сталі;
- глибоке видалення вуглецю;
- видалення сірки;
- дегазація;
- розкислення;
- модифікація включень для запобіганням утворенню тріщин при розливці;
- збільшення ступеню чистоти за рахунок виділення та модифікування неметалевих включень (НВ) [5].

У табл. 1.1 показано, як змінювалися й ускладнювалися завдання й функції позапічної обробки сталі протягом другої половини ХХ ст. [6].

У цей час створено безліч способів позапічної обробки та їхніх модифікацій, що дозволяють у різних умовах виробництва стали домагатися необхідного ефекту найбільш раціональним шляхом. У табл. 1.2 показані можливості різних способів позапічної обробки по комплексному рафінуванню сталі від шкідливих домішок, включаючи й перспективні розробки.

Таблиця 1.1 – Зміна функціональної спрямованості позапічної обробки сталі з 1950 по 2009 рр.

Розв'язувані завдання	Агрегати й способи позапічної обробки
Видалення водню, зневуглецьовування	Вакуумування у ковші, DH, RH
Десульфурація, видалення неметалічних включень	Синтетичні шлаки, ТШС
Вирівнювання температури й хімічного складу	Продувка Ar і N ₂ , електромагнітне перемішування
Одержання низьковуглецевої корозійностійкої сталі	AOD, VOD, RH-OB
Глибоке рафінування сталі, мікролегування й модифікування неметалічних включень	Введення порошкоподібних реагентів
Комплексна підготовка сталі до розливання й кристалізації	Установки ківш-піч, використання промковшу і кристалізатору МБЛЗ для додаткової обробки
Одержання сталі із принципово новими властивостями, із сумарним вмістом шкідливих домішок 30...50 ppm	VOD-PB, RH-PB

Таблиця 1.2 – Класифікація позапічних методів рафінування сталі

Методи	Домішки							
	[C]	[O]	HВ	[N]	[H]	[S]	[P]	Кольорові метали
Шлакові суміші	-	+	+	+)*)	-	+	+	-
Порошкоподібні реагенти		+	±	+)*)		+	+)*)	±*)
Продувка інертними газами	±		±		±			
Вакуумна обробка	+	+	+	±*)	+			±
Установки комплексної обробки	±	+	+	+)*)	+	+	+)*)	±

Умовні позначення: + - ефективне рафінування; ± - слабе рафінування; +*) - принципова можливість з урахуванням перспективних розробок; - рафінування практично відсутнє.

1.2 Обробка сталі синтетичними шлаковими сумішами

Однією з перших промислових технологій позапічної обробки сталі є запропонована у 1925 р. обробка металу у ковші рідким синтетичним шлаком (РСШ) зі складом: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 42\%$, $\text{CaO}+\text{MgO} = 53\%$, $\text{SiO}_2 = 5\%$, $\text{FeO} = 1\%$. Ця технологія забезпечує десульфуріацію і часткове розкислення сталі [7].

У 1986 році була розроблена технологія обробки сталі твердошлаковою сумішшю (ТШС), яка складалася з вапна та плавикового шпату у співвідношенні 4:1 з одночасною продувкою нейтральним газом. Ця технологія при необхідній температурі та відсічі конвертерного шлаку сприяє рафінуванню сталі від домішок, результатом не поступаючись рафінуванню РСШ [8].

На українських підприємствах були проведені дослідження по десульфуріації сталі кусковими твердими шлакоутворюючими сумішами різного складу: вапна з плавиковим шпатом, вапна з плавиковим шпатом і глиноземом, вапна з промисловими відходами [9]. Проте, не дивлячись на економічність і перспективність цієї технології, авторами одержані нестабільні результати по ступеню десульфуріації сталі від 10 до 50%, що можна пояснити недостатнім дослідженням впливу на рафінувальну здатність формованих синтетичних шлаків гранулометричного складу і якості компонентів сумішей, ступеня розкислення металу і кількості конвертерного шлаку, який потрапляє до ковша, матеріалу футерівки ковша та інших технологічних чинників. Ці пропозиції підтверджувалися тим, що в зарубіжній практиці знайшов промислове вживання високоосновний рідкорухомий рафінувальний шлак, сформований в процесі зливу металу з агрегату в ківш з твердою сумішшю вапна і плавикового шпату в співвідношенні $(0,7-0,9):(0,3-0,1)$ [10]. Витрата шлакоутворюючої суміші звичайно складала 7-10 кг/т.

За даними [10], оптимальним співвідношенням основних компонентів в сформованому синтетичному шлаку з високою сульфідною місткістю є $(CaO/SiO_2) : (Al_2O_3) = 0,35$. При цьому сумарний вміст (FeO+MnO) в шлаку доцільно забезпечувати не більш 1% [11].

1.3 Продувка сталі інертним газом

Перемішування металу шляхом продувки аргоном або азотом, а також електромагнітне перемішування розплаву є простими, дешевими й найпоширенішими способами позаагрегатної обробки. Вони дозволяють проводити гомогенізацію рідкої сталі по температурі й хімічному складу, видаляти до 10...15 % водню (при продувці інертним газом) і неметалічних включень, а також інтенсифікувати масообмінні процеси між металевою й шлаковою фазами [12].

Найбільш поширений метод позапічної обробки сталі – продувка металу у ковші нейтральним газом (переважно аргоном) через пористі вогнетривкі вставки у футерівці днища сталерозливних ковшів, або заглибні фурми, що складаються з футерованих вогнетривками сталевих труб з пористими наконечниками. Це сприяє видаленню газів (водень, азот), усередненню хімічного складу і температури металу, пришвидшується розплавлення ТШС, покращуються умови для розкислення і десульфурації. Інтенсивність подачі нейтрального газу 0,04-0,4 м³/т сталі [2].

Для оптимізації умов перемішування металу у ковші нейтральним газом, продувочні вузли розміщують спираючись на технологічні міркування:

- продувочний вузол не може бути розташований у зоні падіння струї металу під час наповнення ковша;
- один з продувочних вузлів має бути розташований у зоні подачі феросплавів, щоб забезпечувати високу ступінь їх засвоєння;

- продувочний вузол не може бути розташований біля стінки ковша, оскільки, у цьому випадку буде відбуватися збільшений знос футерівки у зоні висхідного потоку.

Основні проблеми, які треба вирішити – це [13]:

- визначення раціональної кількості продувочних вузлів та їх розташування у днищі ковша;
- запобігання появі застійних зон у ванні рідкого металу в ковші;
- виявлення умов, що дозволяють реалізувати перемішування металу у ковші з раціональною інтенсивністю;
- оптимізація умов взаємодії металу та шлаку в процесі продувки.

Подачу нейтрального газу потрібно вести через пористе днище в імпульсному режимі. Використання пористого днища дозволить залучити у процес обробки максимальний об'єм рідкої сталі. Коли бульбашки газу єдиним плоским фронтом пронизують об'єм металу, з'являються умови для збільшення неметалевих включень, що, в свою чергу, призводить до збільшення швидкості їх спливання. У процесі обробки металу нейтральним газом може бути зроблений один імпульс, або декілька, у залежності від необхідного ступеню рафінування [14].

Для забезпечення потреб у високоякісних сталях з наднизьким вмістом сірки (менше 0,005%), фосфору та неметалевих включень була розроблена технологія введення у розплав порошкоподібних речовин у струмені нейтрального газу через заглибну фурму [2].

1.4 Оборка сталі рідко- та лужноземельними металами (РЗМ і ЛЗМ)

Значний вплив на морфологію неметалевих включень в сталі мають алюміній, цирконій, титан, рідко- та лужноземельні метали [15-17]. Проте задача глобуляризації оксидних і сульфідних включень в сталі може бути вирішена комплексно тільки при введенні РЗМ або ЛЗМ в глибоко розкисленому алюмінієм низькосірчастому металі [18].

За деякими даними [19] оптимальний рівень властивостей в поперечному напрямі десульфурованої сталі досягається при відношенні $[P3M]:[S] = 3$. Це обумовлено тим, що при такому співвідношенні вмісту P3M і сірки в сталі забезпечуються умови для уникнення утворення сульфїду марганцю.

Як модифікуючий матеріал, що містить P3M, частіше за все використовуються залізокремнієві лігатури з 6-50% P3M церієвої групи, 35-60% кремнію, 0,5-5% кальцію, 2-10% алюмінію. Ці лігатури мають температуру плавлення 1290-1370°C [20]. P3M при звичайних способах введення кускових феросплавів і лігатур в сталь характеризуються високим і нестабільним (75-95% і більш) угаром унаслідок енергійної взаємодії з розчиненим в металі киснем, шлаком, футерівкою ковшів і атмосферою [21]. З урахуванням цього мікролегування сталі P3M доцільно проводити в ковшах з основною футерівкою, при відсіканні окислювального технологічного шлаку, глибокому розкислюванні металу алюмінієм або іншими сильними розкислювачами і під покривним шлаком з низьким вмістом оксидів заліза, марганцю і кремнію [22]. За даними [23] вміст алюмінію в сталі, що модифікується P3M, повинен складати 0,03-0,06%. При виконанні цих умов засвоєння P3M при введенні феросплавів в ківш під час його наповнення складає 20-75%. Воно може бути збільшено до 35-90% за рахунок введення порошкоподібної лігатури в струмені нейтрального газу углиб металу в ковші, а також шляхом присадки феросплавів в дрібнодисперсних шматках, трубах, брикетах в процесі розливання сталі, що містить алюміній, в виливниці і центрову або у вигляді порошкового дроту в кристалізатор МБЛЗ [24].

У якості матеріалів, що містять лужноземельні елементи, при виробництві сталі в основному використовується силікокальцій та феросилікокальцій з 10-35% кальцію, 35-60% кремнію, 0,4-21% алюмінію, 3-40% заліза і значно рідше 98% металевий кальцій, карбід

кальцію і силікокальціймарганець, металевий магній, силікобарій, алюмобарій. Силікокальцій і феросилікокальцій, що використовуються, мають температуру плавлення відповідно в межах 980-1200°C. Для позапічної обробки сталі в ковші рекомендується високопроцентний (25-35% кальцію) силікокальцій [25].

За даними авторів [26] повна глобуляризація включень в сталі досягається при введенні 0,9-3 силікокальцію з 20-35% кальцію. Такий значний інтервал витрати кальцію, що рекомендується, викликаний різними умовами введення модифікуючої добавки і різним початковим вмістом сірки в сталі перед обробкою.

У зв'язку з низькою розчинністю в сталі і високою пружністю пари кальцію [27] його засвоєння при традиційному введенні кальційвмісних матеріалів в ківш було украй низьким (не більше 5%) і не забезпечувало навіть часткової модифікації включень. Тому були запропоновані і досліджені ефективні технологічні прийоми модифікації сталі кальцієм за рахунок інжекційного введення порошкоподібних реагентів в струмені аргону [28]; порошкового дроту; алюмінієвих капсул, що вистрелюються, з металевим кальцієм або його сплавами; сталевого дроту з плакуючим шаром кальцію. Використання цих технологій надало можливість збільшити засвоєння кальцію до 7-25%.

Найбільше розповсюдження у ФРН, США, Швеції, Японії та інших країнах отримав спосіб виробництва сталей модифікованих кальцієм за рахунок вдування порошкоподібного силікокальцію в сталерозливний ківш ємністю від 20 до 160т. Максимальне засвоєння кальцію (20-25%) і супутня йому додаткова десульфуратія металу (30-40%) і модифікація неметалічних включень в прокаті забезпечувалися при обробці порошкоподібним силікокальцієм [29]. Також доведено що, на відміну від використання РЗМ, при обробці сталі кальцієм виключається затування металу сталерозливного стакану за рахунок підвищення

рідкорухомості металу, що дозволяє розливати без технологічних ускладнень сталь із вмістом алюмінію понад 0,04%.

Використання обробки сталі порошкоподібним силікокальцієм дозволило забезпечити виробництво сталі з низьким вмістом сірки і кисню і високими фізико-механічними і службовими властивостями [30].

Літературні дані вказують на перспективність розробки і освоєння комплексної технології отримання сталі з низьким вмістом сірки і кисню, глобулярними неметалічними включеннями за рахунок використання глибокознесірченого чавуну і низькосірчастого лому в конвертерній плавці, обробки металу синтетичним шлаком, відсікання конвертерного шлаку, корегування хімічного складу, мікролегування і модифікації сталі в наповненому ковші кусковими і порошкоподібними феросплавами, лігатурами і алюмінієм.

У другій половині 1980-х років була розроблена технологія введення в розплав порошкової проволоки (ПП). При використанні ПП успішно здійснюються процеси розкислення металу, легування, мікролегування, десульфурзації, видалення неметалевих включень, збільшується засвоєння легуючих добавок. Сталева оболонка товщиною 0,3-0,5 мм захищає порошок реакенти від впливу атмосфери та вологи під час транспортування та зберігання, захищає від окислення під час проходження шару шлаку, забезпечую необхідну жорсткість для занурення у розплав на необхідну глибину [31].

1.5 Комплексні методи обробки сталі

Всі процеси обробки сталі в печі-ковші засновані на нагріванні металу електричною дугою в поєднанні з перемішуванням інертним газом. Завдяки наявності синтетичного шлаку, який відповідає марці сталі, що обробляється, піч-ківш забезпечує найбільш повне використання розкислювачів і легуючих добавок. Горіння дуг і окислення графітових електродів створюють відновлювальну

атмосферу, що забезпечує дуже низьку варіацію вмісту основних елементів від плавки до плавки.

За оцінками, на сьогодні у світі експлуатується понад 700 установок позапічної обробки сталі, серед яких УКДС (установка комплексного доведення сталі) є яскравим прикладом [32]. На деяких заводах застосовують установки «ківш-піч» спеціальної конструкції [23]. У випадках, коли немає сталевозів, а кран не може бути використаний через різні обмеження, вискоелективним рішенням стала піч-ківш, обладнана поворотним столом, здатним вмістити щонайменше два ковші. Відразу після розміщення на поворотному столі ківш повертається в положення нагріву на стенді, таким чином ініціюючи процес обробки. Наступний ківш розміщується на другій приймальній позиції столу в очікуванні завершення обробки першого ковша.

У цей момент сталь може пройти гомогенізацію за допомогою продувки інертним газом. Після закінчення обробки першого ковша стіл починає обертатися, що супроводжується зміною положення ковшів. Примітно, що для полегшення зміни ковшів достатньо одного розливного крана. У системі «ківш-піч», яка включає окремих поворотний стіл і дві приймальні позиції, ківш з металом може подаватися в різні позиції. Така конфігурація полегшує вибір індивідуального положення ковша для подачі порошкового дроту в розплав, не порушуючи цілісність інших паралельних технологічних операцій.

Процес ASEA-SKF є одним з різновидів позапічної обробки сталі. Було продемонстровано, що він забезпечує низький залишковий вміст кисню при скороченні часу обробки завдяки додатковому електромагнітному перемішуванню металу. При цьому розкид по вмісту основних елементів у серії з 100 плавок наступний: C \pm 0,020%; Mn \pm 0,028%; Si \pm 0,05%; Al \pm 0,01%.

Однак цей процес вимагає використання ковшів, виготовлених з немагнітних, корозійностійких сталей, які перешкоджають утворенню

магнітних полів. Отже, на даному етапі найбільшого поширення набули комплексні сталеплавильні агрегати.

Найбільшого поширення набув агрегат «ківш-піч», який є універсальним і дозволяє виконувати практично всі технологічні операції, передбачені для агрегатів позапічної обробки, агрегат «ківш-піч» - УКДС. Агрегат УКДС найчастіше використовується в поєднанні з одним з агрегатів RH або VD, які відрізняються за своєю конфігурацією.

Промислові установки «ківш-піч» дозволяють досягти максимальної швидкості нагріву від 2 до 6°С/хв. для ковшів ємністю від 15 до 250 т. Важливо відзначити, що швидкість нагріву обмежена стійкістю ковша у верхній частині.

На практиці питома електрична потужність становить приблизно 1,8 МВт/м. Однак слід зазначити, що ця питома потужність зменшується зі збільшенням розміру ковша. Отже, швидкість нагріву металу в ковші знижується зі збільшенням місткості ковша. Система «ківш-піч» дозволяє точно контролювати температуру сталі перед розливанням, враховуючи її коливання в процесі безперервного розливання.

Спираючись на результати математичного моделювання з використанням сучасних приладів і програмного забезпечення з гідродинамічними розрахунковими модулями та промислових випробувань [33] була проведена оцінка впливу інтенсивності продувки нейтральним газом, розміщення дуттєвих елементів та товщини рафінуючого шлаку на зміну температури розплаву у сталерозливному ковші за умов нагрівання електричною дугою.

Оцінка швидкості нагріву сталі у 300-т ковші показала, що при розміщенні дуттєвих елементів на 0,6 м від центру ковша середня швидкість нагріву складає 3 °С/хв, віддалення пробки до стінки ковшу призводить до зменшення швидкості нагріву у два рази. Зі збільшенням шару шлаку у 140-т ковші з 100 до 200 мм збільшується період нагрівання на 33% [33].

Металургійні шлаки відносяться до силікатних систем на базі силікатів кальцію: волластоніту ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), беліту ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) та аліту ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). Збільшення вмісту глинозему (Al_2O_3) в цих шлаках призводить до змін мінерального складу з утворенням муліту, силіманіту, галеніту, анориту, мелеліту, кордієриту.

У зв'язку з цим процеси структуризації алюмосилікатних шлаків при виплавці та ковшовій обробці сталі є визначальними факторами збільшення ефективності технології рафінування залізобуглецевих розплавів присадними матеріалами (флюси, шлакоутворюючі, феросплави).

Шлакоутворюючі присадні матеріали у якості флюсів використовують для розрідження плавильних та формування ковшових шлаків за рахунок хімічних реакцій. Для цих цілей використовують плавиковий шпат (CaF_2) у кількості до 20-25% у шлакової суміші, яка в Україні є гостродефіцитним імпортом товаром і, крім того, екологічно небезпечним для довкілля [34].

Для заміни плавикового шпату використовують шамотний бій та ставроліт – для розрідження конвертерного шлаку [35] на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Співробітники двох тайванських університетів (National Chung Sing University та Fareast University), дослідили можливість повторного використання відпрацьованого шлаку для десульфурзації сталі. Експериментальні плавки проводили у лабораторній високочастотній індукційній печі.

Спочатку у печі виплавляли залізобуглецевий напівпродукт, після чого на метал присаджували десульфуруючу суміш на основі CaO . У ході процесу контролювали температуру сталі, вміст вільного кисню, відбирали проби металу. Сталь розкислювали алюмінієм. Після досягнення необхідного рівня десульфурзації, шлак скачували, охолоджували та досліджували.

Хімічний аналіз шлаку показав, що його основність після першої десульфурації перевищувала 2, а в результаті диференційного термічного аналізу встановлено, що відпрацьований шлак повністю розплавляється при температурі 1430°C [36].

Співробітники Індійського технологічного інституту у місті Канпур вивчали вплив основних характеристик шлаку (товщина та фізичні властивості) на процес перемішування сталі у ковші при продувці аргоном через дві осесиметричні пробки. Для цього використовувалися дві водні моделі 140-т ковшу. Для моделювання металу використовували воду, а для моделювання шлаку – бензол, газолін та силіконове масло. Модель продували повітрям. Автори роботи [37] отримали рівняння для розрахунку тривалості перемішування металу, що враховує вплив шлаку на процес перемішування та опираючись на літературні данні.

1.6.Склад шлаку для позапічної десульфурації

Базовою системою для вибору раціонального складу шлаку при десульфурації сталі, розкисленням алюмінієм і кремнієм, є система $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. При формуванні шлаку на основі зазначеної системи прагнуть отримати склад, близький до області подвійного насичення $3\text{CAF}\cdot\text{SiO}_2$, і CaO при найкращому поєднанні сульфідної ємності і рідкотекучості. При видаленні складу шлаку від області насичення CaO , що обумовлено в більшій частині випадків занадто високим вмістом Al_2O_3 , рівноважний вміст сірки зростає, наслідком чого є недостатня десульфурація металу.

Збільшенню рідкотекучості шлаку сприяє наявність в його складі до 8-10 % MgO , що знижує температуру плавлення і в'язкість шлаку, підвищує активність CaO і відповідно коефіцієнт розподілу сірки L_S між шлаком і металом. Оскільки футерівка сталерозливних ковшів зазвичай основна (в

останні роки часто переказовуглецева з $MgO > 91\%$), внаслідок її часткового руйнування в процесі випуску металу з сталеплавильного агрегату наступної його обробки в шлаку неминуче наявність MgO , вміст якого при інших рівних умовах залежить від тривалості обробки на УКП. Для підвищення стійкості шлакового поясу ковша його необхідно сидати при випуску плавки. Оптимальний вміст SiO_2 в рафінувальних шлаках із зазначеною концентрацією MgO становить 8-10%.

Присутній в шлаку Al_2O_3 значно впливає не тільки на його сіркопоглинальну здатність, але й рідкорухомість [7]. Для шлаку системи $CaO-Al_2O_3-SiO_2-MgO$ висока рідкорухомість досягається при співвідношенні основності = CaO/SiO_2 до вмісту Al_2O_3 в межах 0,25-0,35. При зазначеному співвідношенні менше 0,25 знижується сіркопоглинальна здатність шлаку внаслідок зменшення активності в ньому CaO , а при збільшенні понад 0,35 у шлаку збільшується частка твердої фази, що негативно впливає на процес, знижуючи повноту десульфурації металу.

Рівноважний коефіцієнт розподілу сірки між шлаком і металом $L's$, який характеризує найбільший ступінь десульфурації, можна висразити емпіричним рівнянням

$$\lg L's = -2.78 + 0.86 \left\{ \frac{(CaO) + 0,05 (MgO)}{(SiO_2) + 0.6 (Al_2O_3)} \right\} - \lg a_o + \lg f_s$$

де (CaO) та (MgO) – вміст відповідних оксидів в шлаку: a_o – активність кисню в металі: f_s коефіцієнт активності сірки в металі.

Для забезпечення глибокої десульфурації сталі необхідні рафінувальні шлаки з досить високою рідкорухомістю, що досягається присадкою плавикового шпату. Зазвичай для прискореного формування шлаку використовують базову тверду шлакову суміш (ТШС) вапна і плавикового шпату в співвідношенні 3:1 або 4:1, присадкою під струмінь металу при випуску його зі сталеплавильного агрегату в ківш. При дотриманні раціональних технологічних параметрів такої короткочасної

обробки металу швидко формується рідкорухомий шлак з високою десульфуруючою здатністю, що забезпечує вміст сірки в сталі на рівні 0.010-0,015%

Таку технологію лесульфурзації сталі широко застосовують не тільки при використанні установок доведення металу, а й ковша-печі. Застосування ТШС на випуску в ківш з наступною обробкою металу високорозкисленим шлаком на УКП забезпечує одержання особливо низького вмісту сірки в сталі. Так, за даними роботи [12], вміст сірки в металі при такій обробці в 130-т ковші УКП вимірюється наступним чином, %: перед випуском з ДСП 0,012-0.030; після випуску в ківш 0.005-0.015; в готовому металі 0,001-0,005 (середнє 0,004).

На думку авторів роботи [8], застосування ТШС, що зазвичай використовуються на випуску з сталеплавильного агрегату, для умов ковша-печі невиправдано з економічних і екологічних міркувань. Проте правильніше ставити питання про зміну складу традиційно використовуваних ТШС, що містять 20-25% плавикового шпату, замінюючи його іншими компонентами. Присадка ТШС в період випуску плавки необхідна для прискорення шлакоутворення, економії електроенергії, більш повного використання тепла металу і енергії падаючої струменя. Це особливо важливо при підвищеному вихідному вмісті сірки в металі коли тривалість обробки на УКП збільшується в порівнянні з циклом розливання сталі на УНРС.

Актуальними з екологічних міркувань є пошуки заміни плавикового шпату як розріджувача високоосновних рафінувальних шлаків. Дійсно, при відносно тривалій обробці сталі на УКП (40-50 хв. і більше) шлак, що містить CaF_2 , помітно руйнує дорогу футеровку ковша, особливо шлакового поясу. Крім того, в зоні електричних дуг CaF_2 розкладається з утворенням фтористого водню, що негативно впливає на екологію навколишнього середовища. Тому на низці металургійних підприємств, де використовують УКП, замість плавикового шпату застосовують

дешевші матеріали, наприклад, відходи феросплавного виробництва з 72% Al_2O_3 і 17% CaO [12]. Шлак алюмотермічного виробництва кремнію, що містить до 20% Al і до 25% Al_2O_3 [16], а також інші матеріали. Для формування рідкорухомих рафінувальних шлаків без фториду кальцію або зі зменшеним його вмістом можна використовувати оксид натрію Na_2O , джерелом якого є карбонат натрію Na_2CO_3 або різні відходи виробництва, що містять Na_2O . Присутність в шлаку Na_2O не тільки знижує в'язкість і поверхневий натяг, але і значно збільшує його сульфідну ємність [13].

Особливо, актуальна оптимізація складу шлаку при обробці на УКП сталі, розкисленні алюмінієм і з низьким вмістом вуглецю. При досить високій повноті десульфурзації необхідно, забезпечити хорошу стійкість вогнетривкої футеровки ковша, зменшити кількість рафінувального шлаку і витрату плавикового шпату на його формування. За даними роботи [14] оптимізовані присадки фториду кальцію (до 10%) в шлак з високим вмістом CaO не призводять до додаткового зносу футеровки з MgO .

Формування рафінувальних шлаків з оптимальними присадками CaF_2 ще більш важливо при десульфурзації на УКП не розкислених алюмінієм сталі. У цьому випадку для отримання рідкорухомого високоосновного шлаку з відносно низьким вмістом Al_2O_3 (5-10%) потрібна наявність в шлаку 5-10% CaF_2 .

Фірма DANIELI в технічній документації на установці ківш-піч рекомендує для сталі розкисленням алюмінієм, наступний склад рафінувальних шлаку, % 56-62 CaO ; 6-10 SiO_2 ; 20-25 Al_2O_3 ; 6-8 MgO ; 1-2 ($\text{FeO} + \text{MgO}$) ; для сталі, не розкисленої алюмінієм, шлак повинен мати той же вміст CaO , MgO і $\text{FeO} + \text{MnO}$, але більше SiO_2 (15-20%) і менше Al_2O_3 (5-8%), а також містити CaF_2 (5-10 %).

Однак практика глибокої десульфурзації сталі ($\leq 0.005 \text{ S}$) на УКП показує необхідність більш низького вмісту ($\text{FeO} + \text{MnO}$) $\leq 0.1\%$ [12,15-19].

Формування такого високорозкисленого білого шлаку забезпечується розкисненням його порошкоподібними коксом і алюмінієм. Замість порошкоподібного алюмінію часто використовують гранульований алюміній, січку алюмінію, а також різні відходи алюмотермічного виробництва з високим вмістом алюмінію. При десульфурації сталі, не розкисненої алюмінієм, для наведення високорозкисленого шлаку використовують переважно порошкоподібні кокс, феросиліцій, силікокальцій. При цьому з досвіду виплавки сталі в ДСП відомо, що високорозкислені білі шлаки на УКП можна отримувати тільки при роботі на низьких ступенях напруги трансформатора.

1.7. Шлакоутворюючі матеріали та їх використання

Вапно металургійне свіжеобпалене марки ІС-2 по ТУ 14-16-42-90. Концентрат плавикошпатний, металургійний, кусковий марки ФК-85. Дозволяється використовувати інші CaF_2 – містять матеріали з масовою часткою SiO_2 не більше 15%. Щебень високоглиноземисті матеріалів із вмістом Al_2O_3 НЕ менше 60%. Розмір шматків шлакоутворюючих матеріалів повинен бути в межах 5-50 мм. Всі матеріали повинні бути повітряно сухими.

Широке поширення в сталеплавильних цехах позапічної десульфурації сталі в ковші твердими шлаковими сумішами (ТШС) викликано простотою та ефективністю методу, що використовує потужність падаючої струменя металу при його випуску в ківш, а також підвищенням ефективності наступної глибокої десульфурації сталі відповідального призначення, зокрема, на установці ківш-піч, для стабільного отримання дуже низького вмісту сірки в металі (<0,002-0,005%). З метою узагальнення досвіду застосування позапічної десульфурації стали ТШС проведено аналіз опублікованих робіт по даному процесу.

Основними факторами, що впливають на процес десульфурації металу обробкою ТШС при випуску його в ківш, є склад і витрата суміші, момент її введення в ківш склад металу і формується шлаку, інтенсивність перемішування металу і шлаку, температурний режим, вид футеровки ковша та ін. Оптимізація зазначених технологічних факторів сприяє підвищенню ефективності процесу десульфурації.

Аналіз діаграм стану систем $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ і $\text{CaO-CaF}_2\text{-SiO}_2$ показав, що для отримання шлаків з температурою плавлення не вище 1350 C необхідно мати на них не менш $15\text{-}20\%$ CaF_2 . Тому при використанні в якості базової твердої шлакової суміші вапна і плавикового шпату співвідношення цих компонентів зазвичай становить $3:1$ або $4:1$. При зменшенні змісту CaF_2 в системі CaO-CaF_2 ускладнюється використання сіркопоглинаючої здібності утворюється шлаку, пов'язане зі зростанням температури плавлення суміші й в'язкості формується шлакової фази. Одним з можливих шляхів зниження температури плавлення і зменшення в'язкості шлаку цієї системи є підвищення вмісту в неї Al_2O_3 , що краще здійснювати добавкою в шлакову суміш алюмінію або його сплавів. По даними роботи, введення алюмінієвої стружки (10%) в шлакову суміш вапна ($60\text{-}65\%$) і плавикового шпату ($35\text{-}40\%$) сприяє зниженню в'язкості шлаку на 25% в інтервалі температури $1550\text{-}1600\text{ C}$, а також зменшенню плавкості суміші на 60 C , що полегшує умови формування рідкорухомого шлаку.

Введення в базову суміш алюмінію (10%) у вигляді дробу або відходів алюмінію та його сплавів істотно підвищує ступінь десульфурації сталі. У цьому випадку алюміній здійснює додаткове розкислення металу, а оксид Al_2O_3 , що утворюється при цьому додатковим розріджувачів формується із суміші шлаку.

Використання базової ТШС з добавкою магнезитового порошку також підвищує ступінь десульфурації сталі. Введення в ТШС магнезитового порошку (10%) корисне тим, що MgO при вмісті в шлаку до $10\text{-}12\%$ знижує

його температуру плавлення і в'язкість, підвищує активність CaO і коефіцієнт розподілу сірки між шлаком і металом. За даними роботи обробка сталі в ковші сумішшю, що містить крім вапна (60%) і плавикового шпату (20%) магнезитовий порошок (10%) та відходи алюмінію та алюмінієвих сплавів (10%), значно підвищує ступінь десульфурації в порівнянні з використанням суміші вапна і плавикового шпату (3:1). При цьому обробку сталі для магістральних труб великого діаметра проводили в 350-т ковші під час випуску з конвертера. Вапно та плавиковий шпат (попередньо змішані) подавали в ківш по тракту сипучих матеріалів, магнезитовий порошок і відходи алюмінію та алюмінієвих сплавів без попереднього суміш присаджували в ковші з робочого майданчика з переносного бункера одночасно з вапна і плавикового шпату. Черговість подачі в ківш матеріалів під час випуску металу була такою: перша порція чушкового алюмінію, алюмінієвий злиток (250-270кг). За даними дослідження в усьому інтервалі зазначених витрат ступінь десульфурації сталі чотирьохкомпонентною ТШС в порівнянні з двокомпонентної вище на 10-15%. При цьому ступінь десульфурації зростає до певного значення витрати ТШС (8-9 кг/т), вище яких спостерігається її зниження. Разом з тим за даними роботи ступінь десульфурації конвертерної сталі майже лінійно зростає з підвищенням витрати ТШС в межах 7,0-17,8 кг/т, що пов'язано з режимом обробки металу ТШС, зокрема, з одночасною продувкою його аргоном через шибєрний затвор ковша.

Для швидкого розплавлення шлакової суміші під впливом тепла рідкого металу необхідний відповідний її гранулометричний склад. При гідродинамічних умовах наповнення ковша при випуску металу з 240-т мартенівської печі до 1/3 його висоти період повного прогріву тугоплавких шматочків вапна розміром до 20 мм не перевищує 50 с, що становить не більше 5-10% загальної тривалості випуску металу. У зв'язку з високими значеннями коефіцієнта турбулентного масообміну в

цей період наповнення ковша існує можливість формування рідкого шлаку при наявності ТШС шматочків вапна розміром до 20 мм.

Наведені в роботі результати розрахунку тривалості плавлення плавикового шпату в ковші і розчинення в ньому кускового вапна показали, що для досягнення швидкого (1-2 хв.) формування рідкого шлаку при введенні кускової ТШС під струмінь металу при випуску металу з ковша діаметр шматків її компонентів не має перевищувати 20-30 мм.

За даними роботи, оптимальним моментом введення ТШС слід вважати наповнення ковша металом на $1/3$ - $1/2$ висоти. При введенні суміші на початку випуску плавки і до наповнення $1/3$ висоти ковша можливі виплеск металу у зв'язку з заскрапленням суміші і феросплавів і подальшим різким спливанням шлакометаллевого конгломерату при наповненні ковша. При введенні ТШС по наповненні ковша металом більше $1/2$ висоти затримується формування шлаку і зменшується ступінь використання його десульфуруючої здібності. При цьому формування рідкорухомого шлаку прискорюється в разі попереднього змішування компонентів ТШС і перш вапна і плавикового шпату.

При обробці масиву мартенівських плавок показано, що є оптимальна масова швидкість випуску металу в ківш, відповідна найбільшою мірою десульфурації. Для заданих умов обробки сталі ТШС вона склала близько 400 кг/с.

Досвід обробки металу в ковші ТШС показав, що десульфуруюча здатність суміші використовується не повністю і багато в чому залежить від тривалості випуску металу (потужність його падаючої струменя). За результатами розрахунків, інтенсивність перемішування металу в ковші максимальна за невеликої тривалості випуску металу. У міру наповнення ковша і збільшення часу випуску вона знижується. Це не дозволяє отримувати високі і стабільні результати ступеня десульфурації при обробці сталі ТШС. Зменшення енергії падаючої струменя можна компенсувати додатковим перемішуванням металу

продувкою його аргоном через фурму, встановлену, наприклад, в розливному каналі шибєрного пристрою. При продуванні металу газом потужність перемішування підвищується в процесі випуску плавки з 17,7 до 35,8 кВт і досягає максимуму при повному ковші. При цьому сумарна потужність перемішування змінюється у порівняно вузьких межах.

Тому впровадження донної продувки сталі в ковші аргоном є важливим технологічним фактором інтенсифікації процесу десульфурації ТШС.

При обробці сталі сумішшю вапна і плавикового шпату з продувкою аргоном через шибєрний затвор протягом усього часу випуску металу в 140-т ківш підвищується інтенсивність масообміну між металом і шлаком і збільшується поверхня їх взаємодій, що викликає зростання ступеня десульфурації.

При обробці стали ТШС без продувки інертним газом спостерігається екстремальний характер залежності ступеня десульфурації від тривалості її випуску в ківш.

Зі збільшенням тривалості випуску металу понад оптимального значення ступінь десульфурації зменшується внаслідок зниження інтенсивності перемішування металу і шлаку, зменшення швидкості формування рідкого шлаку і його емульгування в метал. Однак при одночасній продувці інертним газом забезпечується стабільність потужності перемішування і, отже, стабільність результатів десульфурації сталі внаслідок створення сприятливих умов для масообмінних процесів у ковші незалежно від тривалості випуску.

Відомо, що досягнення високих і стабільних результатів десульфурації сталі при обробці ТШС можливо тільки при достатньо повною відсіченні окисного шлаку при випуску металу з сталеплавильного агрегату. Зі збільшенням змісту FeO в шлаку ступінь десульфурації сталі значно знижується.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці у металургійній галузі поступово стає справою державної важливості. Свідченням цього є затверджений реєстр ДНАОП, розробка Національної програми по охороні праці, тощо.

Данна кваліфікаційна робота присвячена аналізу впливу параметрів обробки сталі на УКП на ефективність десульфурзації сталі.

В цьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто: основні шкідливі фактори і небезпечності при виконанні робіт з обробки сталі у відділенні позапічної обробки, розроблені заходи для їх усунення або зменшення, розроблена пожежна профілактика для відділенні позапічної обробки.

3.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

Конверторний цех, ковшовий проліт ПАТ «ДМК» відноситься до першого ступеня вогнестійкості, виробничої будівлі. Цех споруджений згідно розміщення з ДСП №173-96 [41]. Площа даного цеху становить 25415 м², ширина самого ковшового прольоту становить 28,5 м, а висота 28 м. В приміщенні системи кондиціонування встановлених згідно ДБН В.2.5-67: 2013 [42], стіни, стелю та внутрішні споруди пофарбовані в світлий колір, вогнетривким фарбою згідно з СН 181-70 [43].

На постійних робочих місцях на ділянці категорія фізичної роботи визначається як середньої важливості (ІІб) тому, що енерговитрати працівника знаходяться в межах 172-293 Дж/с. Значення метеорологічних умов в робочих зонах ділянки відповідно ДСН 3.3.3.042-99 [44] наведені в табл. 3.1. Виходячи з даної таблиці можна сказати, що в холодні і перехідні періоди року температура та відносна вологість допустимі, а ось швидкість повітря не відповідає нормам. Що

до теплих періодів року в допустимих нормах лише відносна вологість, а температура та швидкість повітря не відповідають.

Таблиця 3.1 – Оптимальні, допустимі і фактичні значення метеумов в робочих зонах ділянки

Ступінь важкості робіт	Оптимальні			Допустимі			Фактичні		
	Температура	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с	Температура	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с	Температура	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Холодні і перехідні періоди року									
IIб	17-19	60-40	0,3	16-21	75	0,4	12-21	60	0,5-1
Теплий період року									
IIб	20-28	60-40	0,4	24	75	0,5-1	25-34	50	1,5-2

Основні шкідливі речовини, якими забруднюється повітря робочого місця: аерозолі оксидів заліза, вуглецю, пил чавуну інші. Дані про фактичний вміст цих речовин у повітрі, їх ГДК, а також клас небезпеки відповідно ГОСТ 12.1.005-88 [44] - наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Фактична концентрація, ГДК і клас небезпеки шкідливих речовин у повітрі робочої зони ділянки позапічного відділення

Шкідлива речовина	Фактична концентр. мг/м ³	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Дія на організм
1	2	3	4	5
Металевий пил Fe	до 20	6	III	Фиброгена дія
CO	до 12	20	IV	Гостро направлена
NO ₂	до 1,2	2	III	Гостро направлена

В таблиці 3.2 не відповідає нормам лише металевий пил, а CO та NO₂ знаходяться в рамках норми.

Металевий пил має загально токсичну і дратівну дію, викликає запалювальні хвороби легень, порушення функцій печінки, зниження шлункової секреції, зміни в крові і серцево-судинній системі. Оксид вуглецю має гостро направлену дію на організм людини. Він витискує кисень із крові, при цьому його вміст в повітрі легень може знижуватись з 18-20% до 8%, що припиняє віддачу кисню трахеям легень. Ці шкідливі речовини при невірній організації виробництва і недотриманні певних профілактичних заходів можуть надавати шкідливий вплив на здоров'я, призводити до гострих хронічних отруєнь і професійних захворювань працівників.

Крім того, шкідливим фактором є виділення теплоти, джерелом якої є поверхні ковша і рідкої сталі, температура якого досягає 1330⁰C. Теплове опромінювання робітників не повинне перевищувати 140 Вт/м².

Надлишок тепла викликає у працівника підвищене потовиділення, що призводить до збіднення тканин рідиною і солями, а також крові з порушенням серцево-судинної та нервової діяльності.

Шум викликає зміни в нервовій системі, впливає на психіку, серцево-судинну систему, травлення людини, погіршує його сон. Робота в умовах сильного шуму може викликати головний біль, запаморочення, ослаблення уваги. Тривала дія, надмірного шуму призводить до стійких уражень і порушень функцій слухових органів.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99 [45] гранично-допустимий рівень шуму, встановлений у виробничих приміщеннях на постійних робочих місцях, дорівнює 80 дБА, для операторів постів управління 65дБ. Для зменшення шуму встановлюють пульти управління, працівникам видають беруши і навушники.

Рівень локальної вібрації на майданчик штовхача не перевищує нормативні значення ДСН 3.3.6.039-99 [46].

Особливо слід відзначити небезпека електричної енергії. Несправність електроустаткування, порушення вимог ПУЕ [47], можуть стати причинами поразення персоналу електричним струмом. Небезпека електричного струму полягає в тому, що в результаті впливу електричного струму або впливу дуги на організм людини, відбувається в тій чи іншій формі його пошкодження. Вплив електричного струму на організм людини проявляється в різноманітних формах і може призвести як до легкого, так і важкого результату, включаючи смерть.

Наявність на ділянці електроустаткування та металевих споруд потребує захисту працюючих від дії електротоку пошкодженої електрики.

Для створення сприятливих умов праці важливе, значення має раціональне освітлення. Незадовільний освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці і працездатності очей і може стати причиною захворювання і нещасних випадків. Освітленість в цеху передбачена таким чином, щоб працюючий тривалий час міг вести спостереження за всіма операціями без напруги і стомлення зору. За зорової напруженості робота в доменному цеху відносяться до VII розряду - робота з нагрітим до температури світіння металом. Норма загальної освітленості згідно зі ДБН В.2.5-28-2006 [48] становить 200лк. Фактична освітленість на ділянці не відповідає нормативній – 130-160 лк.

Виробничий процес на ділянці позапічного відділення по вибуховій і пожежній безпеці відноситься відповідно НАПБ Б.03.002-2007 [49] до категорії Г, тому, що на ділянці обробляються неспалімі речовини і матеріали в гарячому розпеченому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевої енергії, іскор та інше.

Відповідно ДБН В.1.1.7-2002 [50] будівля цеху, де розташована ділянка позапічного відділення, належить до II ступеню вогнетривкості, бо побудована з несталених матеріалів: цегли, металу, скла і інші.

Причинами пожеж та вибухів на ділянці можуть бути:

- несправний стан технологічного обладнання та електроустаткування;
- порушення персоналом правил пожежної безпеки;
- вибухи при контакті з водою розплавів та бризк сталі або шлаку та інших.

Для попередження пожеж треба:

- своєчасно ліквідувати несправності в обладнанні;
- проведення повторних протипожежних та з охорони праці інструктажів, особливо при переміщенні працівників з одного робочого місця на інше.

На ділянці позапічного відділення на доступному місці розміщені первинні засоби пожежогасіння згідно НАПБ Б.03.001-2004 [51], розрахунок яких приведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Розрахунок первинних засобів пожежогасіння для ділянки

Найменування приміщення, установки	Одиниця виміру	Найменування первинних засобів пожежогасіння				
		Вогнегасники, шт				Ящик з піском і лопатою, шт.
		Пінні ВВП-10	Вуглекислотні			
	ВВ-2		ВВ-5/ ВВ-8	ВП-1м/ ВП-2м		
Позапічне відділення АхВ=30×28,5=840 м ²	м ²	-	-	3	-	1
Вентиляційне устаткування	на 4 вент.	1	1	-	-	1

3.2 Заходи поліпшення умов праці

Для усунення вищевказаних причин (шкідливості, небезпечності речовин та надлишку тепла) рекомендується провести заходи по захисту робочих від джерел тепловиділення. Так передбачається провести наступні заходи по захисту робочих:

- встановлювання теплозахисних екранів;
- встановлювання відсмоктувального зонту;
- забезпечення робочих термозахисним одягом.

Завдання: необхідно визначити витрати проточної води на полостний водяний екран, який застосовується для захисту від теплового впливу інфрачервоного випромінювання.

Вихідні данні:

- Температура екрануючої поверхні (стінки печі) $t_1 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - Матеріал стінки печі - цегла шамотна;
 - Температура поверхні екрану $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$;
 - Матеріал екрану - алюміній полірований;
 - Площа екрана $F = 10 \text{ м}^2$;
 - Температура води: що надходить $t_n = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; відходить $t_{yx} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Теплоємність води $c = 0,98$ – для річкової води (для морської - 0,94)

Розрахунок:

Визначаємо кількість проточною вода, кг / год, що циркулює в екранах, кг/ч:

$$\alpha = \frac{a \cdot q_n \cdot F}{c(t_{yx} - t_n)} = \frac{0,9 \cdot 35,6 \cdot 10}{0,98(28 - 18)} = 32,69$$

де a – коефіцієнт заглиблення інфрачервоного випромінювання матеріалом екрану і водою, рівний 0,9;

q_n – інтенсивність опромінення – кількість теплоти, передане з 1 м^2 гарячої стінки воді, Вт/м²:

$$q_n = \varepsilon_{пр} \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$$= 0,048 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{273 + 110}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 30}{100} \right)^4 \right] = 35,6$$

Ступінь чорноти, $\varepsilon_{пр}$ Вт/м², рівна:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{(1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2) - 1} = \frac{1}{(1/0,6 + 1/0,05) - 1} = 0,048$$

$\varepsilon_1=0,59$; $\varepsilon_2=0,04$ - ступінь чорноти відповідно гарячої стінки і екрану;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, рівний 5,67 Вт/(м²·К⁴),

T_1 – температура поверхні (стінки) печі, К⁰;

T_2 – температура поверхні екрану, К⁰ (t+273);

P – площа екрану, м²;

c – теплоємність води, (річкової - 0,98, морської - 0,94)

t_n – температура води, що надходить в порожнину екрану. С.

t_{yx} – температура йде від екрану води С.

Окрім захисту робочих від ураження шкідливими речовинами шляхом встановлювання відсмоктувального зонту, також передбачається наявність в комплекті індивідуальних засобів захисту респіраторів.

Також передбачається провести заходи по захисту робочих від ураження електричним струмом, це наявність на ділянці обробки чавуну захисного заземлення устаткування.

Працівники ділянки позапічного відділення забезпечуються засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) на підставі НПАОП 27.0-3.01-08 [52].

За санітарно-гігієнічною характеристикою виробничий процес на ділянці відноситься до ІІб групи виробничих процесів згідно ДБН В.2.2-28:2010 [53].

Для даної групи передбачений наступний состав санітарно-побутових приміщень: гардеробні, душеві, умивальні, пункти харчування, вбиральні, пункти питного водопостачання, пункт охорони здоров'я.

3.3 Захист навколишнього середовища

Найважливішим напрямком зниження промислових викидів в повітряний басейн є вдосконалення технології виробництва процесів і основного технологічного обладнання.

Створення, розвиток і повсюдне поширення методів позапічної обробки є найважливішою ланкою в ланцюзі проблем, вирішення яких прямо або побічно пов'язане зі зменшенням масштабів збитку, що наноситься металургійним виробництвом природі. Проблему "позапічна обробка і екологія" слід розглядати з кількох точок зору:

- утворення відходів в процесі власне позапічної обробки (гази, пил, шлаки, шлами, що охолоджує агрегати вода);
- вплив позапічної обробки на металургійну галузь взагалі.

Вплив же позапічної обробки в широкому сенсі на вирішення проблеми охорони природи дуже важливий, та вирішується з наступного:

1. Установка над агрегатом «ківш-піч» ковпака, що повністю перекриває склепіння печі.
2. Секційне відсмоктування, що представляє укриття з декількох секцій, приєднаних до витяжного газоходу.

Очищення технічних газів від пилу здійснюють мокрим способом в трубах Вентурі і сухим способами в електрофільтрах або рукавних фільтрах.

Для очищення стічних вод сталеплавильного виробництва досить ефективним обладнанням є магнітодисконий апарат, так як виносяться

з сталеплавильних агрегатів і забруднюючі стічні води суспензії є похідними металів, що відносяться до групи феромагнетиків. Тому присутність в процесах освітлення стічних вод магнітного поля значно впливає на очистку цих вод [54].

Також потрібно звернути увагу на сучасне виготовлення сталі яке теж достатньо скорочує шкідливі викиди. Впровадження сучасних методів позапічної обробки дозволяє:

- помітно зменшити витрату феросплавів і відповідно скоротити їх виробництво. Як відомо, феросплавну виробництво є взагалі одним з найбільш "важких", з точки зору охорони людини і природи, виробництв;

- істотно розширило можливості раціонального використання і переробки безпосередньо на металургійних заводах шлаків з шлакових відвалів, шламів, відходів суміжних виробництв Дозволяє вирішувати екологічні проблеми (зниження забруднення середовища, ліквідація сміттєзвалищ відходів, більш раціональне використання природних ресурсів і т.д.).

- Висока якість і надійність одержуваної після позапічної обробки металопродукції (труби, рейки, арматура, швелер, куточок, лист сталевий і інші види металопрокату) істотно скорочує випадки аварій на транспорті, розривів газопроводів, нафтопроводів які можуть негативно вплинути на екологію.

В розділі охорона праці приведені основні шкідливі фактори і небезпечності, розглянуто питання пожежної безпеки та захист навколишнього середовища при виконанні робіт на дільниці позапічної обробки сталі, розроблені заходи для їх усунення або зменшення.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано ефективність використання технології позапічної обробки сталі. Надано загальну характеристику методам позапічної десульфурації сталі. Встановлено, що раціональні параметри обробки можуть дещо відрізнятися на різних підприємствах. Тому в рамках кваліфікаційної роботи планується досліджувати вплив параметрів обробки сталі на ефективність десульфурації сталі в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Проведено статистичний аналіз паспортів плавок, за результатами якого визначено вплив параметрів обробки на ефективність десульфурації сталі, обґрунтовано та наведено рекомендації до впровадження у технологію виробництва сталі. Зокрема,

У третьому розділі розглянуто основні шкідливі фактори і небезпечності при виконанні робіт з обробки сталі у відділенні позапічної обробки, розроблені заходи для їх усунення або зменшення, розроблена пожежна профілактика для відділенні позапічної обробки.

У четвертому розділі виконано оцінку економічної ефективності запропонованих заходів. Зокрема рекомендовано:

- забезпечувати витрату вапна необхідну для досягнення основності шлаку відповідно до ТІ (бажано -.....);
- витрата плавикового шпату має складати -..... кг залежно від стану шлаку;
- забезпечувати ефективне розкислення сталі на випуску з конвертера, застосовуючи комплексні розкислювачі;
- забезпечити надійне відсікання конвертерного шлаку та його розкислення у ковші перед обробкою з метою досягнення вмісту оксидів заліза в ковшовому шлаку (з урахуванням присадок впродовж обробки шлакоутворюючих матеріалів) не більше%;

- забезпечувати високі витрати аргону на рівні щонайменше м³ для донної продувки сталі в ковші, що дозволить досягти ступеню десульфурації сталі щонайменше%;
- для марок сталі, що потребують особливо низького вмісту сірки, забезпечувати тривалість обробки не менше хв.

Встановлено, що запропоновані заходи не несуть шкоди життю та здоров'ю персоналу та навколишньому середовищу.

Запропоновані заходи забезпечують планову економію 10,25 грн./т сталі, що у річному обчисленні для ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» із виробництвом 658680 тонн сталі марки ЗПС дозволяє досягти річного економічного ефекту в розмірі грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богушевський В.С. Позапічна обробка сталі: Підручник / В.С. Богушевський, К.В. Єгоров, А.В. Макану – К.: НТУУ „Київський політехнічний інститут”, 2004. – 216 с.
2. Дюдкин, Д.А. Производство стали на агрегате ковш-печь [Текст] / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг. – Донецк: ООО «Юго-восток, Лтд», 2003. – 300 с.
3. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов / М.Я. Меджибожский. – Киев-Донецк: Вища школа, 1979. – 276 с.
4. Определение параметров процесса рафинирования стали с ультранизким содержанием серы в ковше-печи [Текст] / Jiang Zhouhua, Zhang Heyan, Zhan Dong-ping and al. // J. Northeast Univ. Natur. Sci. – 2002. – 23. – №10. – P. 952 – 955.
5. Баптизманский В.И. Конвертерные процессы производства стали / В.И. Баптизманский, М.Я. Меджибожский, В.Б. Охотский. – Киев-Донецк: Вища школа, 1984. – 343 с.
6. *Jonsson, P.* Modeling of fluid flow conditions around the slag/metal interface in a gas-stirred ladle [Text] / *L. Jonsson, P. Jonsson* // *ISIJ Int.* – 1996. – 36. – №9 – P. 1127 – 1134.
7. *Jonas, A.* Heating and electromagnetic stirring in a ladle furnace: A simulation model [Text] / *Alexis Jonas, Jonsson Par, Jonsson Lage* // *ISIJ Int.* – 2000. – 40. – №11. – P. 1098 – 1104.
8. *Zhu Jie.* Математическое моделирование процесса нагрева на границе дуга-шлак в печи-ковше постоянного тока [Text] / *Zhu Jie, Guo Hongzhi, Fu Jie.* *Beijing keji daxue xuebao* // *J. Univ. Sci. and Techn. Beijing.* – 1997. – 19. – №3. – P. 254 – 258.
9. Казачков, Е.А. Структура расплавленных шлаков и их физические свойства [Текст] / Е.А. Казачков // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2010. – № 6. – С. 28 – 30.

10. Mills, K.C. The Influence of Structure on the Physicochemical Properties of Slags [Text] / K.C. Mills // *ISIJ International*. – 1993. – V. 33. – № 1. – P. 148 – 155.

11. Паниотов, Ю.С. Согласование работы агрегатов конвертерного цеха [Текст] / Ю.С. Паниотов, Т.И. Лысенко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – №7. – С. 136 – 137.

12. Young, R.W. Use of Optical Basicity Concept for Determination Phosphorus and Sulphur Slag- metal Partitions [Text] / R.W. Young, J.A. Duffy, C.J. Hasal, Z. Xu // *Ironmaking & Steelmaking*. – 1992. – V. 19. – № 3. – P. 201 – 219.

13. Приходько, Э.В. Исследование свойств синтетических шлаков, сформированных из рафинирующих смесей при внеагрегатной обработке стали [Текст] / Э.В. Приходько, А.Ф. Хамхотько, В.А. Мелеков, И.В. Вихлевщук // *Металл и литье Украины*. – 1997. – № 8-9. – С. 9 – 10.

14. Математическая модель гидродинамики расплава в заполняемом сталеразливочном ковше с учетом донной продувки металла аргоном [Текст] / В.А. Вихлевщук, Ю.Н. Омесь, С.Е. Самохвалов и др. // *Математическое моделирование. Научный журнал*. – Днепропетровск: ДГТУ. – 1998. – № 3. – С. 75 – 79.

15. 31. Use of Computational Thermodynamic Calculations in Studying the Slag/Steel Equilibrium during Vacuum Degassing [Text] / H. Doostmohammadi, M. Andersson, A. Karasev et al. // *Steel Research International*. – 2010. № 1. С. 31 – 39.

16. Концепция организации ресурсосберегающего промышленного производства низкосернистых сталей на металлургических предприятиях Украины [Текст] / В.С. Харахулах, В.А. Вихлевщук, А.Ф. Шевченко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1995. – №2. – С. 19 – 22.

17. Пиптюк, В.П. Исследование гидродинамики и тепло-, массообмена ковшевой ванны установки ковш-печь [Текст] / В.П.

Пиптюк, В.Ю. Болотов, И.А. Павлюченков // Metall and Casting of Ukraine. – 2005. – № 3-4. – С. 97 – 98.

18. Некоторые закономерности продувки стали в ковше [Текст] / В.Б. Охотский, В.С. Харахулах, С.С. Бродский и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1996. – №1. – С. 19 – 21.

19. Лунёв В.В. Разработка теоретических основ и внедрение процессов внепечной обработки жидкой электростали РЗМ и ЛЗМ с целью повышения механических и эксплуатационных свойств металла: Дис. ...д-ра техн. наук. – Запорожье, 1983. – 643 с.

20. Казачков И.П. Легирование / И.П. Казачков. – К.: Техника, 1982. – 120 с.

21. T. Lehner, in: *Ladle Treatment of Carbon Steel, Proc. 1979 McMaster Symp. on Iron and Steelmaking.* – 7:1 – 7:26.

22. Параметры барботажной зоны в сталеразливочных ковшах различной вместимостью при продувке металла инертным газом [Текст] / Д.А. Дюдкин, В.В. Белоусов, А.Я. Бабанин, В.В. Акулов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2012. – № 5. – С. 14 – 17.

23. Физическое моделирование процессов перемешивания металла газом в ковше [Текст] / А.Н. Смирнов, Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш и др. // *Металл и литье Украины.* – 2006. – № 3-4. – С. 27 – 30.

24. Valintin, P. Emulsification of Top Slags during Argon Stirring through a Porous Plug in the Ladle of Si Deoxidised Carbon Steel [Text] / P. Valintin, C. Bruch, J. Gaule // *Steel Research.* 2009. 10. С. 746 – 752.

25. Влияние перемешивание жидких фаз на показатели внепечной десульфурации металла [Текст] / В.И. Баптизманский, В.П. Черевко, В.А. Вихлевщук и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1995. – №1. – С. 17 – 19.

26. Grant, N.J. Sulphur equilibria between liquid iron and slags / N.J. Grant, J. Chipman // *Trans. AIME,* 1946, v. 167, P. 134 – 149.

27. Игнатъев В.С. Модернизация технологии микролегирования стали ферросплавами и лигатурами РЗМ / В.С. Игнатъев,

В.А. Вихлевщук, В.С. Тхоревский // Информ.листок о научно-техническом достижении №5-097. – Запорожский ЦНТИ, 1985. – 4 с.

28. Левин, С.Л. Сталеплавильные процессы [Текст] / С.Л. Левин. – К.: Гостехиздат, 1963. – 403 с.

29. 101. Зборщик, А.М. Физико-химические процессы внеагрегатного рафинирования металла [Текст] / А.М. Зборщик. – Донецк: ДонНТУ, 2001. – 154 с.

30. Wilson, W.G. The use of thermo-dynamic and phase equilibria to predict the behaviour of the rare earth elements in steel [Text] / W.G. Wilson, D.A.R. Kay, V. Vached // Journal of metals. 1974. – № 5. – P. 14 – 23.

31. Обоснование и разработка высокоэффективных способов модифицирования стали [Текст] / И.Н. Зигало, Ю.Н. Грищенко, В.М. Кимстач и др. // Металл и литье Украины. – 1997. – № 10. – С. 17 – 20.

32. Бужак, Ю.В. Десульфурация металла в условиях обработки на агрегате ковш-печь (АКП) [Текст] / Ю.В. Бужак, С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов // Металлургия XXI столетия глазами молодых / Материалы Всеукраинской научно-практической конференции студентов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 16 – 17.

33. Влияние основных технологических факторов на отклонение системы от равновесия в процессе десульфурации металла на агрегате ковш-печь [Текст] / С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов, В.С. Мамешин, Fumitaka Tsukihashi // Теория и практика металлургии. – 2013. – № 5-6, С – 35 – 39.

34. Анализ равновесия серы в системе металл-шлак [Текст] / С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов, В.С. Мамешин, А.С. Грищенко // Металл и литье Украины. – 2014. – № 1, С. – 15 – 19.

35. Влияние перемешивания жидких фаз на степень десульфурации метала в условиях обработки на агрегате ковш-печь [Текст] / С.В. Журавлева, Ю.С. Паниотов, В.С. Мамешин, А.С. Грищенко // Литье. Материалы IX Международной научно-практической

конференції. *Металлургія. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, г. Запоріжжя – 2013, С – 259 – 260.*

36. Троцан, А.И. Анализ рафинировочных процессов ковшевой обработки стали [Текст] / А.И. Троцан, Б.Ф. Белов, О.В. Носоченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 3. – С. 16 – 20.*

37. Darken, L.S. Determination of sulphide capacity of steel slags. [Text] / L.S. Darken. *The physical chemistry of steelmaking: proceedings of the conference "The physical chemistry of iron and steelmaking", London, 1958., Л. А. . – Р. – 257.*

38. Павлюченков И.А. Теплообменные процессы при плавлении твёрдых материалов в жидком расплаве сталеплавильных агрегатов: Дис. ... канд. техн. наук. – Киев. – 1983. – 144 с.

39. Попандопуло И.К. Использование ставролитового концентрата для разжижения конвертерного шлака / И.К. Попандопуло, А.А. Ларионов, В.В. Фитерер // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. – №2. – С.23-25.*

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

41. ДСанПіН 3.3.2-007-98. "Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин". Київ. 1998 р. № 7.

42. ДБН В.2.5-67:2013. "Опалення, вентиляція та кондиціонування". Издание неофициальное, Киев.: ГП «Укрархбудінформ, 2013, 174с.

43. ДСН 3.3.6.042-99. "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень". – К.: Держстандарт, 1999.

44. «Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони». Наказ № 1596 від 14.07.2020. Зареєстровано в Міністерстві

юстиції України 03 серпня 2020 р. за № 741/35024 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>

45. ДНАОП 0.03-3.06-80 "Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень №2152-80. Мінохорони здоров'я СРСР. 1980

46. ДСН 3.3.6.037-99. "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку". – К.: Держстандарт, 1999.

47. ДСН 3.3.6.039-99. "Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації". – К.: Держстандарт, 1999.

48. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. — Київ, 2017. — 617 с.

49. ДБН В.25-28-2018. "Природне і штучне освітлення". – К.: Мінбуд. України, 2018.

50. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою. – К.: Міненргобуд України, 2016.

51. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: УкрНДІЦЗ України, 2016.

52. НПАОП 27.0-3.01-08 Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 27.08.2008. № 187.

53. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. – К.: Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій, 2014.- 126 с.

54. НАПБ Б.01.008-2018 «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників». К.: МНС України, 2018.