МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка оптимальних складів нових шлакоутворювальних сумішей для МБЛЗ**

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1362-м-с2
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
М.А.Лоцкін
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н, доц. Кириченко О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., д.т.н., проф. Бєлоконь Ю.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____
«_____»_____20____року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лоцкіну Микиті Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка оптимальних складів нових шлакоутворювальних сумішей для МБЛЗ
керівник роботи Кириченко Олексій Геннадійович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року №1831-с

2 Строк подання студентом роботи 15.06.2026

3 Вихідні дані до роботи Дослідити технологію використання нових шлакоутворювальних сумішей для МБЛЗ. Визначення закономірностей сучасних технологій виробництва чавуну. Науково-технічна література, авторські свідоцтва

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; 1 Загальна частина; 2 Конструкційна частина; 3 Технологічна частина; 4 Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
18 креслень

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Загальна частина	Кириченко О.Г., доцент		
2 Конструкційна частина	Кириченко О.Г., доцент		
3 Технологічна частина	Кириченко О.Г., доцент		
4 Охорона праці та техногенна безпека	Кириченко О.Г., доцент		

7 Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	11.05-15.05.2026	
2	1 Загальна частина	16.05-20.05.2026	
3	2 Конструкційна частина	21.05-27.05.2026	
4	3 Технологічна частина	28.05-06.06.2026	
5	4 Охорона праці та техногенна безпека	07.06-11.06.2026	
6	Висновки, перелік джерел посилання	12.06-14.06.2026	

Студент _____ _____М.А.Лоцкін_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ _____О.Г.Кириченко_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____Ю.О.Бєлоконь___
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 95 с., 15 табл., 17 рис., 25 джерел

КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР, СТАЛЬ, ШЛАКОУТВОРЮВАЛЬНА СУМІШ, ВУГЛЕЦЕВМІСНІ МАТЕРІАЛИ, ОКИСЛЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ, КІНЕТИКА ПЛАВЛЕННЯ

Мета роботи – дослідити технологію використання нових шлакоутворювальних сумішей для розливки сталі на МБЛЗ.

В загальній частині надано обґрунтування завдання; систематизована паливно-сировинна база киснево-конвертерного процесу; обґрунтовані виробнича програма цеху та сортамент продукції; проведений вибір конструкції, кількості та ємності основних продуктивних агрегатів; розроблені об’ємно-планувальних рішень будівлі, розташування обладнання та основних відділень у цеху та розглянуті вантажопотоки конвертерного цеху.

В конструкційній частині наведена конструкція конвертера з комбінованим продуванням та конструкція пристрою для подачі кисню в конвертер.

В технологічній частин проведена розробка шлакоутворювальних сумішей для розливання сталі на МБЛЗ.

У частині «Охорона праці та техногенна безпека» дається характеристика шкідливих умов конвертерного виробництва, санітарно-гігієнічних умов праці та визначаються заходи, що забезпечують комфортні умови праці, вимоги техніки безпеки, плануються протипожежні заходи, проводиться розрахунок штучного освітлення конвертерного відділення.

ЗМІСТ

Вступ 7
1 Загальна частина 8
1.1 Обґрунтування завдання 8
1.2 Паливно-сировинна база киснево-конвертерного процесу 9
1.3 Виробнича програма цеху та сортамент продукції 10
1.4 Вибір конструкції, кількості та ємності (об'єму) основних продуктивних агрегатів 12
1.5. Вибір основного підйомно-транспортного обладнання 13
1.6 Розробка об’ємно-планувальних рішень будівлі, розташування обладнання та основних відділень у цеху 20
1.7 Вантажопотоки конвертерного цеху 26
1.7.1 Система завантаження скрапу в конвертер 30
2 Конструкційна частина 35
2.1 Конструкція конвертера з комбінованим продуванням 35
2.1.1 Пристрій для подачі кисню в конвертер 36
3 Технологічна частина 39
3.1 Розробка шлакоутворювальних сумішей для розливання сталі на МБЛЗ 39
3.2 Розробка комплексного складу шлакоутворювальних сумішей, залежно від їх властивостей та хімічного складу 47
3.2.1 Функції та властивості шлакоутворювальних сумішей для безперервного розливання сталі 47
3.3 Роль вуглецевмісних матеріалів у складі шлакоутворювальних сумішей для безперервного розливання сталі 51
3.4 Окислювальна здатність вуглецевмісних матеріалів 55
3.5 Кінетика плавлення шлакоутворювальних сумішей вибраних складів 57
3.6 Вибір оптимальних складів нових шлакоутворювальних сумішей для дослідно-промислового випробування 61
3.7 Дослідно-промислове випробування нових шлакоутворювальних сумішей . 63

3.8 Дослідження якості дослідного металу 67
3.9 Вихідні вимоги до промислового впровадження нової ШУС 68
4 Охорона праці та техногенна безпека 72
4.1 Аналіз потенційних та небезпечних шкідливих факторів конвертерного цеху72
4.1.1 Теплові виділення 72
4.1.2 Виробничий пил 73
4.1.3 Виробничий шум 74
4.1.4 Загазованість 75
4.1.5 Вібрація 76
4.1.6 Електричний струм 77
4.2. Технічні рішення щодо виробничої санітарії 79
4.2.1 Об'ємно-планувальні рішення будівель та споруд конвертерного цеху 79
4.2.2 Вентиляція та опалення 80
4.2.3 Виробниче освітлення 81
4.2.4 Виробничий шум 82
4.3 Заходи щодо безпеки праці 83
4.3.1 Заходи щодо виробничої санітарії 84
4.3.2 Організаційні заходи 85
4.4 Заходи пожежної безпеки 86
4.5 Розрахунок штучного освітлення конвертерного відділення 88
Висновки 91
Перелік джерел посилання 94

ВСТУП

До недавнього часу сталеплавильна промисловість України була зосереджена на дванадцяти великих металургійних підприємствах. У 2014 році загальний обсяг виробництва сталі в Україні склав 23,6 млн тонн, серед яких 47,5 % припадало на мартенівську сталь, 49,1 % – на конвертерну, а лише 3,4 % – на електропічну.

Із використанням технології МБЛЗ (машини безперервного лиття заготовок) в Україні було відлито лише 47,6 % загального обсягу сталі, у той час як у розвинених країнах цей показник перевищує 80-90 %. Така значна різниця вказує на необхідність модернізації виробничих процесів.

Сучасна світова металургія висуває дедалі вищі вимоги до якості металопродукції. Зокрема, акцент робиться не лише на зниженні вмісту шкідливих домішок (таких як сірка, фосфор, гази чи кольорові метали), але й на підвищенні ступеня чистоти сталі від неметалевих включень. Ці чинники істотно впливають на властивості матеріалу, такі як анізотропність, зварюваність, опірність холодноломкості, схильність до старіння та технологічну пластичність.

На якість рідкої та твердої сталі вагомий вплив мають шлакоутворювальні суміші, що додаються до кристалізатора МБЛЗ. Використання таких добавок дозволяє значно покращити якісні характеристики кінцевої продукції.

Проте сталеплавильна галузь України стикається з серйозними викликами в умовах економічної незалежності. Перебої в постачанні сировини та перехід на світові ціни на енергоносії призводять до значного збільшення собівартості продукції. Це значно ускладнює конкуренцію з виробами металургійної промисловості розвинених країн. У цьому контексті актуальним стає використання альтернативних вуглецевмісних матеріалів із регіонів, близьких до виробничих баз. Це дозволяє знизити транспортні витрати та оптимізувати витрати на сировину.

Основною метою даної кваліфікаційної роботи є розробка оптимальних складів інноваційних шлакоутворювальних сумішей для машин безперервного лиття заготовок, що сприятиме підвищенню ефективності виробництва та конкурентоспроможності української металургії.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Обґрунтування завдання

Будова та організація роботи сталеплавильних цехів залежать від складу металургійного заводу, типу сталеплавильного процесу, обсягів виробництва, способу розливання сталі, потужностей прокатних цехів, асортименту виготовлюваної продукції, а також інших виробничих і технологічних умов. Сталеплавильний цех являє собою комплекс споруд, у яких забезпечуються зберігання шихтових матеріалів, їх подача й завантаження в обладнання, виплавка і розливання сталі, а також утилізація продуктів плавки.

Основна мета представленої кваліфікаційної роботи полягає у проєктуванні сучасного киснево-конвертерного цеху. Заплановано, що цех буде спеціалізуватися на виробництві вуглецевих сталей (зокрема для автомобільного листа) та низьколегованих сталей (наприклад, для виробництва зварних труб). Уся сталь для особливо відповідального призначення розливатиметься за допомогою машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Технологія виплавки передбачає широке використання засобів позапічної обробки.

Десульфурація, модифікування, мікролегування й легування сталі здійснюються із застосуванням шлакоутворювальних сумішей, а також шляхом введення порошкового дроту в ківш через трайбапарати. Технологічне оснащення цеху відповідає сучасним вимогам і включає високотехнологічне обладнання. Варто зазначити, що саме в цьому цеху вперше у світі була розроблена та впроваджена технологія факельного торкретування футерування конвертерів, що суттєво підвищило його стійкість.

До складу сталеплавильного цеху входять такі відділення й служби:

1. Міксерне відділення
2. Шихтове відділення магнітних матеріалів
3. Шлаковий двір
4. Шихтовий двір сипучих матеріалів

5. Головна виробнича будівля

6. Ділянка комплексного доведення якості сталі (УКДС)

7. Відділення безперервного розливання сталі (ВБРС)

8. Відділення підготовки ковшів

Характерними особливостями планувальних рішень конвертерних цехів є організація виплавки та розливання сталі на машинах безперервного лиття заготівок або слябів, винесення всіх операцій зі зберігання, подачі й підготовки шихтових матеріалів до спеціалізованих відділень, розташованих в окремих будівлях. Також передбачається використання залізничного транспорту для забезпечення зв'язку між різними відділеннями.

Основними вантажопотоками в конвертерному цеху є подача й завантаження сталевого брухту та сипучих матеріалів у печі, транспортування та заливка чавуну, а також відведення злитків і шлаку. До головних допоміжних вантажопотоків належать подача вогнетривких матеріалів, забезпечення ремонтних робіт та видалення ремонтних відходів. Раціональна організація вантажопотоків досягається завдяки лінійному розташуванню всіх відділень вздовж одного напрямку та транспортуванню основних вантажів по поздовжніх рейкових шляхах.

1.2 Паливно-сировинна база киснево-конвертерного процесу

Металургійний комбінат, у межах якого планується будівництво конвертерного цеху, забезпечується сировиною та паливом із різних регіонів України. Доставка ресурсів здійснюється з таких джерел і підприємств:

1. Залізна руда – постачається із Криворізького родовища (Кривбасруда), класи 21 та 22, із вмістом Fe відповідно 61% і 58%. Середній хімічний склад руди, % маси: SiO_2 — 11,8; Al_2O_3 — 3,5; FeO — 19,71; Fe_2O_3 — 59,9; MgO — 2,4; MnO — 0,4; CaO — 0,9; P_2O_5 — 0,18; S — 0,02; H_2O — 1,95.

2. Металургійний кокс – виготовляється на Авдіївському та Ясинівському коксохімічних заводах із Донецького коксівного вугілля.

3. Залізорудний концентрат – надходить із Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату.

4. Вапняк – видобувається на Велико-Анадольському та Оленівському кар'єрах. Середній хімічний склад, % маси: SiO_2 — 1,8; Al_2O_3 — 0,9; Fe_2O_3 — 0,2; MgO — 1,8; CaO — 53; P_2O_5 — 0,07; S — 0,1; H_2O — 0,98; CO_2 — 41,5.

5. Вогнетриви – постачаються з Пантелемонівського та Запорізького вогнетривних заводів, а також Микитівського доломітного комбінату.

6. Доломіт – походить із Докучаєвського доломітопаливного заводу. Середній хімічний склад, % маси: SiO_2 — 5,2; Al_2O_3 — 2; FeO — 1,5; Fe_2O_3 — 1,5; MgO — 36,3; CaO — 53,5.

7. Феросплави – отримуються з Нікопольського (силікомарганець), Запорізького (феросиліцій), Костянтинівського та Комунарського (феромарганець) заводів.

8. Електроди – надходять із Запорізького та Донецького електродних заводів.

9. Мазут марки «80» – забезпечується Кременчуцьким нафтопереробним заводом. Середній хімічний склад, % маси: C — 85,6; H — 10,5; N — 2,2; Q = 39,39 МДж/м³.

10. Природний газ – складається з наступного хімічного складу (% маси): CH_4 — 92; C_2H_6 — 0,4; C_3H_8 — 0,2; CO_2 — 0,1; N_2 — 1,3; Q = 35,66 МДж/м³.

11. Металобрухт – частково формується за рахунок внутрішніх відходів виробництва та постачань від «Вторчермет».

12. Технічна вода – забезпечується з річки Кальміус та Павлопольського водосховища.

13. Питна вода – надходить із Кам’янського водосховища.

14. Електроенергія – поставляється від енергетичного кільця «Донбасенерго» та заводської ТЕЦ.

1.3 Виробнича програма цеху та сортамент продукції

Продуктивність цього конвертерного цеху за рік рівняється 6 млн т сталі.

Добова продуктивність конвертерного цеху рівнятиметься:

$$П_{доб} = \frac{6000000}{365} = 16438{,}35\text{т. сталі за добу,} \quad (1.1)$$

де 365 – кількість днів роботи конвертера за один рік

Місячна продуктивність конвертерного цеху буде:

$$П_{міс} = 16438{,}35 \cdot 30 = 493150{,}7\text{т. сталі на місяць,} \quad (1.2)$$

де 30 - кількість днів в одному місяці (28-31).

Сортамент сталей, які виплавляються у конвертерному цеху, включає наступне:

- сталі - за ГОСТ 380-94 (0-Стст5ПС;Ст3ГПС;Ст5гПС); ГОСТ 1050-88 08ПС, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 55); ГОСТ 19281-89 (09Г2, 09Г2Т, 09Г2С Г2Д, 10Г2, 12Г2, 14Г2, 16Г2, 12ГС, 16ГС, 10ХНДП); ГОСТ 9045-93 (08Ю; 08ПС); ГОСТ 4041-71, ГОСТ 14959-79 (65Г, 60С2); ТУУ27.14-516-2002 (07ДСЮФ, 08ДСЮТ, 08ДСЮФ);
- крім того, трубні марки сталі – (APISL-2000 США, DIN 17172, DIN 17120, ASTM A 635/A635M-96 США);
- конструкційні якісні марки сталі підвищеної міцності - (DIN EN 10219-1, ГОСТ 1577-93, ГОСТ 14959-79, DIN EN 10025, ГОСТ 19281-89);
- сталь для судин і котлів - (DIN EN 10028);
- сталь для штампування - (DIN EN 10130, DIN N 1623);
- електротехнічна ізотропна, анізотропна сталь.

Розглядається можливість виготовлення інших марок сталі, легованих такими елементами, як кремній, марганець, азот, фосфор та інші. Крім того, передбачається виробництво сталей, мікролегованих бором, ніобієм, ванадієм, молібденом та іншими мікроелементами.

1.4 Вибір конструкції, кількості та ємності (об'єму) основних продуктивних агрегатів

Найбільш розповсюдженим конвертерним процесом є технологія з верхнім продуванням.

Розрахунок продуктивності кисневого конвертера здійснюється за наступною формулою:

$$П_к = \frac{Т \cdot 1440 \cdot а \cdot n}{100 \cdot t} \quad (1.3)$$

$$П_к = \frac{160 \cdot 1440 \cdot 97 \cdot 365}{100 \cdot 33} = 2549160 \text{т сталі на рік},$$

де Т - ємність конвертера (за масою рідкої сталі), т;

t – тривалість плавки, 33-70 хв;

n - кількість робочої доби на рік, діб/рік;

а - вихід придатних зливків по відношенню до маси рідкої сталі

Таблиця 1.1 – Тривалість плавки конвертерів

Операції при плавки	Місткість конвертера			
	160	200	300	400
	Тривалість плавки хв.			
Завантаження брухту	2-10	2-10	2-10	2-10
Заливання чавуну	2-10	2-10	2-10	2-10
Продувка	12-20	12-20	12-20	12-20
Відбір проб аналізу, вимірювання температури				
Злив металу	4-10	5-10	6-10	7-10
Злив шлаків	2-5	2-5	2-5	3-5
Підготовка конвертера	6-10	6-10	6-10	6-10
Усього	32-70	33-70	34-70	36-70

Визначення кількості та об’єму конвертерів здійснюється, спираючись на задану річну продуктивність проєктованого цеху ($П_ц$, т⁄рік). Виходячи з попередньо заданої кількості конвертерів, їх об’єм розраховують із такого співвідношення:

$$n = \frac{П_ц}{П_к} \ , \quad (1.4)$$

де $П_к$ - річна продуктивність одного конвертора

Місткість конвертера має відповідати типовому ряду ємностей, визначеному ГОСТом, і становити (за масою рідкої сталі): 50, 100, 130, 160, 200, 250, 300, 350 або 400 тонн. Необхідну кількість конвертерів визначаємо за наступною формулою:

$$n = \frac{П_ц}{П_к} = \frac{6000000}{2549160} = 2{,}36 \approx 3 \text{конвертера}, \quad (1.5)$$

де$П_ц$ –виробнича програма цеху

$П_к$ –річна продуктивність одного конвертера на рік

Добова продуктивність цеху:

$$П_м = \frac{П_к}{365} = \frac{2549160}{365} * 3 = 20952 \text{т сталі на добу} \quad (1.6)$$

1.5. Вибір основного підйомно-транспортного обладнання

Шихтові матеріали для виплавки сталі 08Ю в кисневому конвертері.

Таблиця 1.2 - Шихтові матеріали для виплавки сталі марки 08Ю на одну плавку і одну добу в кисневому конвертері з об'ємом конвертера 160т

Шихтові матеріали	Витрата шихти на переплавлення 100 кг шихти	Витрата шихти на переплавлення 1000 кг шихти	Витрата шихти на плавку в 160 т конвертері, т	Витрата шихти за добу в конвертерному цеху,т
Чавун	80	800	128,0	17280
Брухт	20	200	32	4320
Вапно	2	20	3,2	432
Доломіт	1,7	17	2,7	364,5
Переклазохроміт	0,1	1	1,6	216
Витрата кисню	9,158	91,58	14,8179	2000,42
Усього	112,958	1129,58	182,317	24612,92

Шихтове відділення магнітних матеріалів:

Відділення — це однопрольотна будівля з розміром у межах осей колон: ширина — 30 метрів, довжина — 84 метри, висота — 12,8 метра. У приміщенні працюють шість кранів із вантажопідйомністю по 15 тонн кожний. У скрапному відділенні передбачено яму розміром 78,8 метра завдовжки, 13,3 метра завширшки та 3 метри завглибшки. Уздовж усього шихтового відділення прокладені три залізничні колії: дві призначено для розвантаження, а одна для навантаження. Завантаження здійснюється в совки для одноразового завантаження. Також передбачено 60-тонні залізничні ваги для зважування шихти.

Кількість магнітних кранів визначається за такою формулою:

$$n = \frac{Q_c \Sigma}{1440} \cdot \frac{k}{b} \tag{1.7}$$

де Q_c –добова витрата матеріалу, т/доба

Σ –час на навантаження 1 т матеріалу, хв/т

k-коефіцієнт враховує виконання краном допоміжних робіт, k = 1,15

b –коефіцієнт використання крана $b = 0{,}8$

1440- кількість хвилин на добу, хв/доба

Добуваємо кількість магнітних кранів для брухту:

$$n_б = \frac{4320 \cdot 1{,}2}{1440} \cdot \frac{1{,}15}{0{,}8} = 5{,}2 \approx 6 \text{кранів}$$

Шихтове відділення сипких матеріалів:

Це шихтовий двір верхнього типу, оснащений ямними бункерами для зберігання сипучих матеріалів. Його розміри становлять 240 метрів у довжину та 13 метрів у ширину. Двір обладнаний двома грейферними кранами, вантажопідйомність кожного становить 10 тонн. Уся внутрішня площа будівлі зайнята залізобетонними ямними бункерами, які відповідають довжині стандартного

вагона. Над бункерами прокладені дві наскрізні залізничні колії: одна для розвантаження, друга для навантаження.

Шихтовий двір також оснащений стаціонарним вагоноперекидачем, який розрахований на обробку вагонів масою до 160 тонн.

Необхідно визначити кількість грейферних кранів для обробки вапна.

$$n_{\text{в}} = \frac{432 \cdot 1{,}4}{1440} \cdot \frac{1{,}15}{0{,}8} = 0{,}6 \approx 1\text{кран} \quad (1.8)$$

Вишукуємо кількість грейферних кранів для доломіту:

$$n_{\text{п.ш.}} = \frac{48 \cdot 0{,}6}{1440} \cdot \frac{1{,}15}{0{,}8} = 0{,}028 \approx 1\text{кран} \quad (1.9)$$

Добуваємо об'єм бункерів та штабелів для зберігання шихтових матеріалів (V):

$$V = \frac{Q_c \cdot K_з}{\text{qh}}, \quad (1.10)$$

де Q_c –добова витрата матеріалу, т/доба

q - величина насипної маси матеріалу в бункері, т/м^3;

$К_з$ – норма запасу матеріалу в бункері

Н - коефіцієнт заповнення бункера, рівний 1,2 для металевої шихти та 0,8 для сипких матеріалів (для штабеля h = 1).

Таблиця 1.3 – Насипна маса шихтових матеріалів у бункері

Матеріал	Насипна маса	Матеріал	Насипна маса
Залізна руда	2,7	Доломіт обпалений	1,5
Вапняк	1,6	Кокс	0,5
Вапно	0,8	Лом:	
Окалина	2,6	Легковаговий	1,0-1,7
Боксит	1,5	Середній	1,8-2,5
Окатиші	1,8-2,0	Важковаговий	3,2
Агломерат	2,0	Чавун чушковий	3,5
Плавиковий шпат	1,7	Феромарганець	3,0
Магнезитовий порошок	1,9	Нікель	3,5
Доломіт сирий	1,6	Феросиліцій	
		12	3,0
		45%	2,2
		75%	1,5

Більшість матеріалів рекомендується зберігати із нормою запасу, яка становить 6–10 діб. Для магнезитового порошку цей період складає 10–15 діб. Особливі вимоги стосуються плавикового шпату, легованого брухту та феросплавів в електросталеплавильних цехах — їх необхідно зберігати до 30 діб. У випадку вапна та обпаленого доломіту, через їхню схильність до гідратації, термін збереження значно менший і варіюється від 0,5 до 2 діб. За умови наявності загальнозаводського складу нижню межу норм запасу матеріалів можна знизити до 2 діб, а загальні норми на таких складах становлять 10–30 діб.

Розміри ямних бункерів і штабелів визначаються відповідно до їх розрахованої місткості. При цьому враховують характеристику матеріалів: для сипучих матеріалів глибина бункерів становить 6–7 м, для брухту — 2–4 м, а кут нахилу бічних стінок близький до 45°. Довжина бункерів сягає від 30 до 48 м при висоті конструкцій 6–21,6 м. Для будівель із кранами висота становить 12,6 м при ширині приміщення 24 м.

Для визначення ємності бункерів та штабелів, призначених для зберігання брухту, необхідно провести відповідні розрахунки.

$$V_{\text{б}} = \frac{Q_{\text{д}} \cdot K_{\text{з}}}{\text{qh}} = \frac{4320 \cdot 27}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 64800\text{м}^3 \qquad (1.11)$$

Добуваємо ємність бункерів та штабелів для зберігання вапна:

$$V_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{д}} \cdot K_{\text{з}}}{\text{qh}} = \frac{432 \cdot 1}{0{,}8 \cdot 0{,}8} = 675\text{м}^3 \qquad (1.12)$$

Вишукуємо ємність бункерів та штабелів для зберігання плавикового шпату:

$$V_{\text{п.ш.}} = \frac{Q_{\text{д}} \cdot K_{\text{з}}}{\text{qh}} = \frac{580{,}5 \cdot 27}{3 \cdot 1{,}2} = 4353{,}75\text{м}^3 \qquad (1.13)$$

Добуваємо ємність та кількість міксерів. Сумарна необхідна ємність міксерів (T_c) вираховується за такою формулою:

$$T_c = \frac{1{,}01 \cdot П_{сут} \cdot К_ч \cdot t}{24h} \quad (1.14)$$

де $П_{сут}$ - добова продуктивність цеху, т/доб.

$К_ч$ - витрата рідкого чавуну на 1 т злитків, т/т; =0,988т

h – коефіцієнт заповнення міксера (0,7);

t – середній час перебування чавуну в міксері (2 год); 1,01-коефіцієнт, що враховує втрати чавуну в міксері;

24 - кількість годин на добу, год/добу.

$$T_c = \frac{1{,}01 \cdot 20952 \cdot 0{,}8 \cdot 2}{24 \cdot 0{,}7} = 2015{,}38\text{т.} \approx 2015\text{т}$$

Кількість міксерів (n) та їхню ємність (Т) визначають на основі розрахованої загальної потреби в ємності (T_c), використовуючи формулу: $n = T_c / T$. При цьому враховується, що стандартна ємність міксерів становить 150, 300, 420 або 600 тонн

$$n = 2015/300 = 6{,}717 \text{ міксерів по } 300\text{т} \quad (1.15)$$

Місткість совків для брухту визначається відповідно до насипної маси (q), яка для розрахунків приймається як 1 т/м³. Якщо врахувати, що брухт складає 25% від загальної маси металошихти, то його витрати на одну плавку будуть становити:

$$\frac{0{,}25 \cdot T}{0{,}9} = \frac{0{,}25 \cdot 160}{0{,}9} = 44{,}44\text{т} \quad (1.16)$$

де Т - ємність конвертера рідкої сталі, т

0,9 – вихід рідкої сталі.

За таких умов обсяг брухту (V_c), завантаженого одним совком, дорівнюватиме:

$$V_c = \frac{0{,}25 \cdot T}{0{,}9 \cdot q} = \frac{0{,}25 \cdot 160}{0{,}9 \cdot 1} = 44{,}44\text{м}^3 \quad (1.17)$$

Кількість совків для завантаження брухту. Під час використання напівпортальних машин для завантаження брухту в процесі завалки застосовують два совки. Відповідно, якщо кількість плавок у цеху за добу дорівнює А, тоді в конвертери потрібно завантажити 2А совків із брухтом. Таким чином, необхідна кількість совків (n) дорівнюватиме:

$$n = K \cdot \frac{2A \cdot t_{об}}{24} = К\frac{А \cdot t_{об}}{12} = \frac{135 \cdot 3}{12} = 34 совка \quad (1.18)$$

де $t_{об}$ –тривалість циклу обороту совка, г

К – коефіцієнт запасу (1,15)

24 - число годин на добу.

Під час завантаження брухту за допомогою одного совка (мостового крана) кількість необхідних совків скорочується вдвічі. Цикл роботи совка включає транспортні операції між завантажувальним і шихтовим прольотами, або відділенням чи скрапорозділочним цехом, і повернення назад. Також до циклу входять завантаження брухту в совок, очікування завершення завантаження у завантажувальному прольоті й остаточне завантаження брухту в конвертер. Тривалість усього циклу може коливатися в межах від 2,5 до 5 годин.

Щодо шлакового відділення, видалення шлаку здійснюється за допомогою самохідних шлаковозів із місткістю ковша 16 м³. Відвезений шлак транспортується до відділення первинної переробки, яке розташоване неподалік в окремій будівлі.

Кількість необхідних шлакових ковшів (n) можна визначити за відповідною формулою:

$$n = \frac{K \cdot A \cdot n_1 \cdot t_{об}}{24}, \quad (1.19)$$

де А - кількість плавок у цеху за добу, пл/добу;

n_1 –кількість шлакових ковшів на одну плавку, шт/пл;

К – коефіцієнт запасу (1,15-1,3)

$t_{об}$ – тривалість обороту шлакового ковша (3-6 год.)

Кількість шлакових ковшів на одну плавку:

$$n_1 = \frac{T \cdot K_ш}{V_л \cdot q} = \frac{160 \cdot 0{,}15}{11 \cdot 2{,}4} = 0{,}9 \approx 1 \text{шлаковий ківш} \quad (1.20)$$

де Т-ємність конвертера, т;

$K_ш$ –кількість конвертерного шлаку (0,11-0,17 т/т сталі);

$V_к$ –об'єм шлакового ковша (11 або 16 або 30 м^3);

q - густина рідкого шлаку 2,3-2,5 т/м^3)

$$n = \frac{K \cdot A \cdot n_1 \cdot t_{об}}{24} = \frac{0{,}11 * 135 * 1 * 5}{24} = 3 \text{шлаковоза}$$

Кількість скраповозів. Скраповози використовуються для транспортування совків із металобрухтом із шихтового прольоту, відділення або цеху для підготовки скрапу до завантажувального проліту. У цехах із великовантажними конвертерами скраповоз може одночасно перевозити два совки (якщо брухт завантажується напівпортальною машиною) або один совок (при завантаженні краном). У будь-якому з цих випадків кількість рейсів скраповозів буде відповідати числу плавок у цеху за добу. Необхідна кількість скраповозів (n) визначається, шт.:

$$n = \frac{A \cdot t_{об}}{1440} = \frac{135 \cdot 25}{1440} = 2{,}34 \approx 3 \text{скраповоза} \quad (1.21)$$

де А - кількість рейсів скраповоза за добу, шт/добу;

$t_{об}$ –тривалість циклу обороту скраповоза, м.м.

Кількість кранів у шлаковому прольоті. У металургійних цехах, які мають окремий проліт для транспортування шлаку, мостові крани виконують наступні операції: переміщення ковшів із шлаком з шлаковозу конвертерного цеху на спеціальний стенд, а потім зі стенду на шлаковоз, призначений для вивезення за межі цеху. Після повернення до прольоту порожніх шлакових чаш здійснюється

переміщення у зворотному порядку. Кількість необхідних кранів (n) розраховується за формулою:

$$n = \frac{A \cdot n_к \cdot n_n \cdot t_n \cdot k}{1440 \cdot b} = \frac{135 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1{,}1}{1440 \cdot 0{,}8} = 1{,}546 \approx 2\text{крана}, \quad (1.22)$$

де А – число плавок у цеху за добу;

$n_к$ –кількість шлакових ковшів на одну плавку, шт/пл;

n_n –число перестановок однією ківш (4);

t_n –тривалість однієї перестановки (3 хв);

k – коефіцієнт виконання краном допоміжних робіт (1,1);

b – коефіцієнт використання крану (0,8);

1.6 Розробка об'ємно-планувальних рішень будівлі, розташування обладнання та основних відділень у цеху

Конвертерний цех поділяється на такі основні відділення:

- Відділення виплавки сталі, яке включає:

а) Скрапне відділення;

б) Шлакову естакаду;

в) Відділення переливу чавуну (міксерне відділення);

г) Відділення десульфурації чавуну;

д) Завантажувальний проліт;

е) Конвертерний проліт;

є) Проліт сипких матеріалів;

ж) Проліт ремонту сталерозливних ковшів.

- Відділення безперервного розливання сталі, яке охоплює:

а) Роздавальний проліт;

б) Проліт машини безперервного лиття слябів (МБЛЗ), а також ремонт проміжних ковшів;

в) Проліт передачі слябів;

г) Проліт відвантаження слябів.

Скрапне відділення

Скрапне відділення шириною 28,5 м розташоване між прольотами «А-Б» і призначене для приймання та перестановки металургійних совків зі скрапом об’ємом 75 м³, а також для коригування їх ваги.

Совки надходять до відділення за двома наскрізними залізничними коліями з копрового цеху. Завантаження совків передбачено в новозбудованому відділенні завантаження скрапу, яке є частиною копрового цеху.

Обслуговування скрапного відділення здійснюється за допомогою двох магнітно-грейферних кранів із вантажопідйомністю 16/16 тонн та двох кранів із поворотним візком вантажопідйомністю 150 тонн. Для забезпечення точного контролю ваги совків із металобрухтом у відділенні встановлено ваги для зважування, враховуючи додавання легуючих добавок.

Совки з брухтом транспортуються до конвертерів за допомогою двох двомісних самохідних скраповозів.

Шлакова естакада

Шлакова естакада шириною 18 метрів розташована в межах прольотів «Б-В» і виконує функції відкритої кранової споруди. Вона призначена для прибирання шлаку, сміття, бою вогнетривких матеріалів, а також для подачі порожніх шлакових чаш.

Шлаковий матеріал від конвертерів транспортується до естакади у ковшах об’ємом 11 м³, які встановлені на двомісних самохідних шлаковозах.

Естакада обладнана двома кранами з вантажопідйомністю 100/20 тонн для виконання операцій навантаження та розвантаження.

Перевезення шлакових ковшів здійснюється залізничними шляхами. Для цього передбачено одну лінію зі східного боку та дві лінії із західного боку.

Відділення переливу чавуну

Відділення для переливу чавуну розташоване в межах прольоту «Г-В» завширшки 18,0 м і призначене для приймання та переливання чавуну в заливальні ковші, доставленого з доменного цеху.

Чавун транспортується з доменного цеху до конвертерного цеху по естакаді у чавуновозних ковшах міксерного типу об'ємом 300 тонн. Переміщення здійснюється по двох залізничних коліях, що проходять на рівні +10,0 м.

Чавун зливається в заливальні чавуновозні ковші об'ємом 200 тонн, які встановлені на двох самохідних чавуновозах. Ці чавуновози оснащені пристроями для нахилу ковша та ваговимірювальним обладнанням.

Шлак із міксерних ковшів відводиться в шлаковий ківш об'ємом 16 м³, розташований на непривідному шлаковозі, який зчеплений із самохідним чавуновозом. Після заповнення шлаковий ківш транспортують до естакади для шлаку.

Для потреб ремонту у відділенні передбачено підвісний кран із вантажопідйомністю 10 тонн.

Відділення десульфурації чавуну.

Відділення призначене для зменшення вмісту сірки у чавуні через продування гранульованим магнієм за допомогою зануреної фурми, що працює зі струменем азоту або аргону.

Комплекс обладнання розташовано в прольоті "Г-Д", де встановлено дві установки для десульфурації чавуну, доповнені зоною прийому гранульованого магнію.

Склад обладнання цих установок включає:

- пристрій для введення продувних фурм у розплав;
- систему вимірювання температури та відбору проб;
- модуль-дозатор магнію;
- камеру для проведення десульфурації;

- аспіраційну систему з витяжними парасольками та установкою для очищення газів.

Завантажувальний проліт

Завантажувальний проліт призначений для подачі металобрухту та заливки чавуну в конвертер, розташований у лавах «Д-Е».

На торцевій частині прольоту облаштовано зону для скачування шлаку із заливальних ковшів.

Обладнання для завантаження шлаку включає:

- дві установки для завантаження шлаку;

- дві відкатні парасольки.

Обслуговування прольоту виконують два заливальні крани вантажопідйомністю 360+100/20 тонн та один скрапозавантажувальний кран вантажопідйомністю 150 тонн.

Процес завантаження скрапу в конвертер здійснюється за допомогою заливального крана з перехідною траверсою.

Конвертерний проліт

У конвертерному прольоті розташовані три конвертери з ємністю по 160 тонн, обладнані системами як донного, так і верхнього продування. Над ними встановлено машини для подачі кисню та торкретування, пристрої для вимірювання температури та відбору проб, а також обладнання газовідвідного тракту. Кожен конвертер знаходиться в укритті, яке з’єднано з системою аспіраційного газоочищення.

Плавка випускається з конвертера в сталерозливний ківш, що розташовується на самохідному сталевозі. Цей сталевоз транспортує ківш у роздавальний проліт для подальшої позапічної обробки сталі.

Шлак із конвертера спрямовується у шлакові ковші місткістю 11 м^3, котрі встановлені на самохідному шлаковозі. Після цього шлаковози доставляють наповнені ковші на спеціальну шлакову естакаду.

Проліт оснащений мостовим краном вантажопідйомністю 20 тонн для обслуговування фурмених пристроїв. Також встановлений спеціальний кран

вантажопідйомністю 80 тонн для виконання ремонтних робіт приводів конвертера та ще один кран вантажопідйомністю 20 тонн для ремонту обладнання газовідвідного тракту.

У східній частині прольоту розміщено ділянку ремонту фурм, де проводяться відповідні роботи. Обслуговування цієї ділянки здійснюється краном вантажопідйомністю 20/5 тонн.

Проліт сипких матеріалів

У прольоті для сипких матеріалів розташовано видаткові бункери та обладнання подачі сипучих матеріалів і феросплавів. Ця система забезпечує автоматизоване дозування матеріалів і їх транспортування з бункерів до конвертера, сталерозливного ковша та печей для прожарювання феросплавів. Проліт знаходиться у ряді «Ж-І».

Проліт ремонту сталерозливних ковшів

Проліт ремонту сталерозливних ковшів розташований у зоні «І-К» і має ширину 27 метрів. У цьому прольоті виконуються роботи з ремонту футеровки, підготовки сталерозливних і заливальних ковшів, а також днищ конвертера.

Для ефективного виконання цих завдань у прольоті розміщено кілька ключових елементів обладнання: розчинний вузол, машина та стенд для демонтажу футеровки ковшів, пристрої для охолодження ковшів, стенди та обладнання для заміни шиберних затворів, а також засоби високотемпературного нагріву та сушіння. Крім основного обладнання встановлено й інші допоміжні пристрої.

Для піднімання і переміщення важких вантажів проліт оснащений двома мостовими кранами вантажопідйомністю 140 та 32 тонни. Для виконання менш масштабних операцій додатково встановлений консольний кран із вантажопідйомністю 5 тонн.

Передача сталерозливних ковшів зі зони ремонту в роздавальний проліт машини безперервного лиття слябів здійснюється за допомогою самохідного сталевоза, що забезпечує швидкість і точність процесу.

Відділення безперервного розливання сталі

Будівля цеху безперервного розливання сталі є чотирипролітною, закритою, без системи опалення.

У прольоті «Л-М» розташовано обладнання для позапічної обробки – три установки типу «ківш-піч». У торцевій частині прольоту передбачені зони для відстою та очищення ковшів. Експлуатацію цього прольоту забезпечують два розливні крани вантажопідйомністю 360+100/20 тонн і один кран із вантажопідйомністю 80/20 тонн. Також тут встановлено чотири установки «ківш-піч», а для обслуговування використовується два крани вантажопідйомністю 30+100/20 тонн.

Проліт «М-Н» містить три машини безперервного лиття слябів криволінійного типу з постами управління і робочим майданчиком на рівні +12,0 метрів. У торцевій частині цього прольоту знаходиться обладнання для зняття старої футеровки та ремонту ковшів, а також передбачені зони для зберігання вогнетривких матеріалів. Експлуатаційне навантаження виконують крани вантажопідйомністю 80/20 тонн.

У прольоті «Н-П» розташовано обладнання машин газового різання з транспортними рольгангами та постами управління, а також дільниця для підготовки технологічного обладнання і ремонту проміжних ковшів. Експлуатацію прольоту забезпечують крани вантажопідйомністю 80/20 тонн. Для транспортування проміжних ковшів із прольоту «М-Н» до «Н-П» використовується самохідний передавальний візок. Обладнання від машин безперервного лиття слябів із ремонтної дільниці та дільниці налаштування змінного обладнання доставляється в проліт «Н-П» також за допомогою передавального візка по технологічній колії.

Проліт «П-Р» призначений для складування та відвантаження слябів. До нього примикає естакада, яка дозволяє транспортувати сляби до прокатного цеху. У цьому прольоті також розташований термобокс, що забезпечує повільне охолодження слябів із вмістом вуглецю 0,4% і більше. Сляби укладаються в

термобокс у вигляді штабелів. Роботу у прольоті забезпечують два мостові крани із поворотним візком із вантажопідйомністю 50 тонн кожен.

1.7 Вантажопотоки конвертерного цеху

Система транспортування та завантаження сипких матеріалів та феросплавів

Для забезпечення технологічного процесу виробництва сталі в конвертері необхідно своєчасно подавати визначену кількість сипучих шихтових матеріалів, таких як руда, вапно, феросплави тощо. Матеріали транспортуються із відділення приймальних бункерів за допомогою двох паралельно розташованих похилих стрічкових конвеєрів (1 на рис. 1.1). Далі вони потрапляють на пересувні реверсивні конвеєри (2), які переміщуються над витратними бункерами і забезпечують їх наповнення.

Кожен конвертер оснащений двома здвоєними групами витратних бункерів, у яких по чотири секції. У бункерах 5 та 6 зберігаються агломерат і плавиковий шпат, а в бункерах 3 та 4 — вапно. Об’єм кожного бункера складає 160 м³. Через електровіброживильники (7) і електровібраційні грохоти (16) сипучі матеріали подаються у вагодозатори (8 та 17) місткістю до 5 тонн. Увімкнення віброживильників дозаторів дозволяє подавати порції матеріалів на стрічкові конвеєри (9 і 10). При відкритті затвора (12) матеріал спрямовується через течку (13) і кесон (14) безпосередньо до конвертера (15).

Дрібні частинки вапна після просіювання на грохотах конвеєра (18) завантажуються у складальний бункер (19), обладнаний комірковим живильником (20). Дозування матеріалів виконується із вагового бункера (21), а подача здійснюється через трубчасту поворотну течку (25) у сталерозливний ківш (26), встановлений на сталевозі. На стаціонарній течці передбачений запобіжний відсіковий затвор (24).

Друга група витратних бункерів має аналогічне технічне оснащення та принцип дії. Основна різниця полягає у тому, що один із крайніх бункерів

призначений для зберігання коксу, який використовується для випалу футеровки конвертера після її заміни.

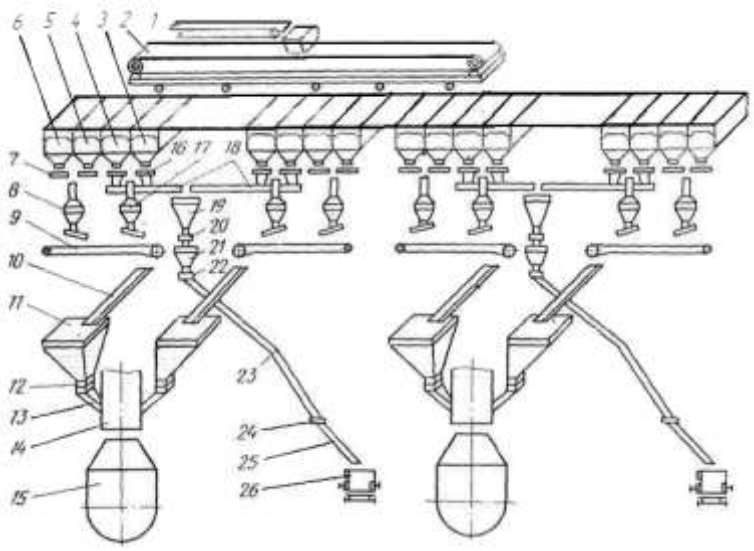


Рисунок 1.1 – Принципова схема подачі, дозування та завантаження сипких матеріалів конвертер

Сипучі матеріали та феросплави доставляються в цех за допомогою стрічкових конвеєрів 1, а розвантаження здійснюється автоматичними скидальними візками 2 у витратні бункери 3, розташовані під конвеєрами. Для кожного конвертера встановлено шість бункерів для сипучих матеріалів – по три з кожного боку. Під кожним бункером розташовані вагові дозатори 5, які забезпечують точне зважування матеріалів. Перед завантаженням у вагові дозатори вапно обов’язково пропускають через електровібраційний грохот 4 для просіювання. Відсіяний дрібний вапняк трубчастими течками подається на віброконвеєр, який транспортує його в збірний бункер. Звідти вапно завантажується у сталерозливний ківш або в спеціальні ємності для подальшого вивезення.

Інші сипучі матеріали подають до вагових дозаторів за допомогою електровібраційних живильників 4. Вагові дозатори оснащені прийомними воронками, у які введені носки електровібраційних живильників. Точки введення захищені кожухами, а всередині воронок є повітрозбірники з жалюзійними патрубками, з'єднаними із системою очищення. У нижній частині вагових дозаторів встановлені трубчасті приймачі 6, під якими розташовані проміжні бункери 7 із

затворами. Нижче знаходяться тічки 8, які входять у патрубки 9, сполучені з газовідвідним трактом 10 конвертера 11. Щоб уникнути потрапляння газів із конвертера під час завантаження, між патрубком 9 і течкою 8 встановлено спеціальний захисний пристрій 22.

Система працює наступним чином: за сигналом датчиків рівня матеріал із конвеєрів 1 автоматично перевантажується скидальними візками 2 у витратні бункери 3. Далі запускаються електровібраційні грохоти та електровібраційні живильники 4, які подають матеріали в вагові дозатори 5. Виміряна порція з вагових дозаторів прямує до проміжного бункера 7, а з нього – через течку 8. У разі тривалої зупинки одного з конвертерів передбачена можливість переадресації вапняку за допомогою реверсивного конвеєра 19 з одних бункерних ваг до іншого проміжного бункера. Це забезпечує ефективне використання вапняку і підвищує надійність системи зважування та дозування.

З кожного боку конвертера, поруч із витратними бункерами, встановлено по два спарені бункери для зберігання до восьми різних марок феросплавів. Під кожним бункером розташовані вагові дозатори 12, до яких феросплави подаються через електровібраційні живильники. У конструкції передбачені дворукавні тічки 13 під ваговими дозаторами та блок із двох печей 14 для прожарювання феросплавів. Між дворукавними тічками і печами знаходяться хиткі жолоби 15, що забезпечують направлення матеріалів до печей для прожарювання або, у разі їх ремонту, напряму у лійки 16. Після цього феросплави потрапляють до вагових дозаторів 17 і через течки 18 подаються безпосередньо у сталерозливний ківш. При видачі феросплави, які пройшли прожарювання у печах, також потрапляють у лійки 16 й далі спрямовуються у сталерозливний ківш.

Функціонування системи відбувається таким чином. Спочатку феросплав необхідної марки подається у вагові дозатори, де відбувається його зважування. Далі через завантажувальний лоток відміряна порція феросплаву потрапляє до печі, де матеріал нагрівається до температури 800 °С. Прожарений феросплав за допомогою системи лотків транспортується до сталерозливного ковша.

У цьому процесі автоматично обчислюється маса прожарених феросплавів для кожної порції, яка відповідає масі сталі, що випускається при нахилі конвертера під заданим кутом. Таким чином, подача порцій прожарених феросплавів у сталерозливний ківш здійснюється на основі сигналів від датчика, який відстежує кут нахилу конвертера.

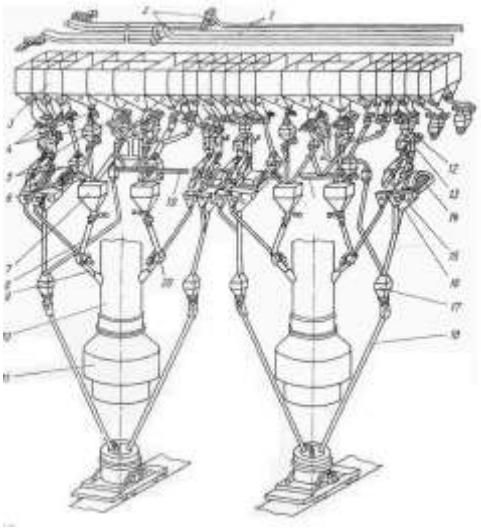


Рисунок 1.2 - Система подачі сипких матеріалів та феросплавів у конвертер та сталевоз

Робота системи подачі сипких матеріалів і феросплавів здійснюється з центрального пульта керування конвертером. На встановленій тут мнемосхемі операторського щита відображається стан усіх механізмів системи та фіксуються виконані керівні команди. Також на сигнальних табло показується інформація двох типів: задана маса матеріалів та фактично обрана.

Тверді феросплави можуть доставлятися в цех за допомогою автотранспорту в саморозвантажувальних цебрах ємністю 4 м³, які вивантажуються у видаткові бункери. Технологічний процес передбачає завантаження зважених порцій у баддю об'ємом 1 м³, яка краном подається до печей для прожарювання. Після прогріву до 800°С феросплави поміщають у спеціальний контейнер, що транспортується електронавантажувачем до підйомного совка. Совок розташований поруч із конвертером і призначений для дозованого завантаження в сталерозливний ківш кількох марок феросплавів. Він має чотири окремі осередки, які розділені між собою

спеціальними затворами. Під час завантаження феросплавів у сталерозливний ківш совок за допомогою гідроциліндра нахиляється до кута 40°. Передбачена можливість зупинки нахилу на кутах 25° і 35°. У процесі висипання феросплавів затвори осередків відкриваються почергово через поворотний жолоб. Після завершення завантаження сталерозливного ковша совок повертають у вихідне положення.

Рідкі феросплави плавляться в електропечах, а вихідні матеріали для них транспортуються за допомогою кранів або підлогового транспорту. З електропечей рідкі феросплави спеціальною самохідною машиною доставляються до жолоба, розташованого біля конвертера. Машину з наповненим ковшем встановлюють так, щоб носик ковша був над отвором зливного жолоба. Заливання рідких феросплавів у сталерозливний ківш виконується через жолоб, після чого ківш повертається в початкове положення для технічного обслуговування та ремонту.

1.7.1 Система завантаження скрапу в конвертер

Сьогодні у вітчизняній та світовій промисловій практиці спостерігається тенденція до збільшення частки скрапу в шихті для киснево-конвертерного процесу, а також до скорочення часу завалки шляхом підвищення місткості совків або використання скрапу з більшою густиною. Це зумовлено тим, що загальна кількість скрапу, його тип та порядок завантаження мають суттєвий вплив на процес шлакоутворення. Найбільш ефективним у шихті є використання важкого скрапу. При завантаженні різних видів скрапу в конвертер рекомендується починати із легкого скрапу, а вже після цього додавати важкий. Така послідовність позитивно впливає на технологію плавки та забезпечує збереження футерування конвертера від пошкоджень.

В конвертерних цехах широке застосування отримали машини напівпортального типу. Напівпортальна машина складається з основи портального моста, що спирається на чотири ходові візки, які рухаються попарно по двох рейках, розташованих на робочому майданчику та підкранових балках. Машина також обладнана двома транспортними візками із вантажозахоплювальними пристроями

для совків, які розміщені на верхньому майданчику напівпорталу. Конструкція машини дозволяє проводити послідовне завантаження скрапу з двох совків місткістю до 130 тонн. Вона виконує такі функції: переміщення напівпортала уздовж конвертерного прольоту, поперечне переміщення візків із совками, вертикальне підняття совків та їх нахил для зсипання матеріалу.

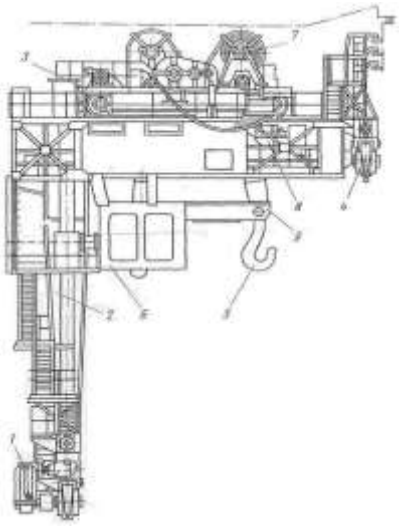


Рисунок 1.3 – Напівпортальна машина для завантаження скрапу в конвертер

Скраповоз доставляє по два завантажені совки на робочий майданчик заливного прольоту конвертерного відділення. Завантажувальна машина пересуває совки до конвертера та за допомогою механізмів підйому встановлює їх над горловиною, де вони нахиляються для зсипання скрапу. Гаки вантажопідйомністю до 50 тонн мають подовжену форму, що запобігає вискакуванню цапф совка під час його нахилу на горловину конвертера. Крім того, візок оснащений спеціальним механізмом для обмеження навантаження передньої пари гаків, що захищає механізм підйому від перевантаження або використання для сторонніх операцій, таких як зняття настилів із горловини конвертера. Цей же механізм забезпечує контроль мінімального натягу канатів передніх гаків при опорі совка на горловину.

Після завершення завантаження порожні совки розміщують на стелажі та повертають у шихтове відділення за допомогою скраповоза. Управління всіма операціями виконує машиніст із кабіни управління.

У деяких випадках завантаження скрапу може здійснюватися за допомогою кранів. Тоді совок транспортують до конвертера на спеціальній траверсі, підвішеній

до гаків заливного крана. Далі гак допоміжного підйому нахиляє совок під кутом 35-37°, після чого скрап завантажується в конвертер. Однак слід зазначити, що таке рішення значно підвищує інтенсивність експлуатації заливних кранів, що перевищує їхні проєктні характеристики і знижує надійність роботи.

Система подачі чавуну в конвертер

Для транспортування рідкого чавуну з доменного цеху і його подальшого зберігання використовують спеціальні пристрої, які мають назву міксери. У металургії міксером називають спеціальну сталеву ємність, ізсередини викладену вогнетривкою цеглою. Такі міксери поділяють на два типи: стаціонарні (місткістю до 2500 тонн) і пересувні (до 600 тонн). У киснево-конвертерних цехах рідкий чавун з доменної печі доставляють і зберігають двома основними способами, залежно від типу міксера: за допомогою чавуновозів із невеликими ковшами (місткістю 100 і 140 тонн) або пересувними міксерами зі зливанням у заливний ківш конвертера.

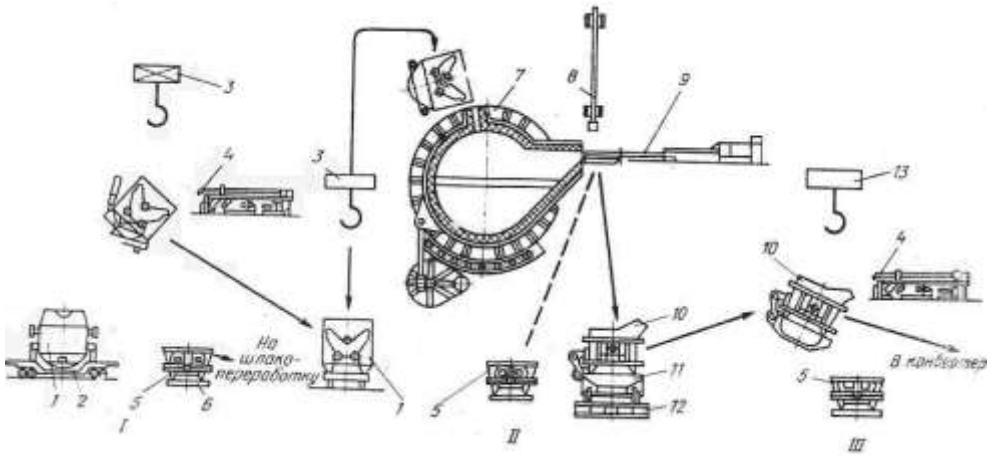
Стаціонарні міксери використовуються для вирівнювання складу й температури рідкого чавуну, а також для створення резерву металу в буферній ємності. Система транспортування чавуну до киснево-конвертерного цеху із застосуванням стаціонарних міксерів включає обладнання міксерного відділення, пристрої для переміщення чавуну від міксера до конвертера, а також механізми для зливання шлаку з заливних ковшів.

Чавуновози з доменного цеху транспортуються тепловозом у відділення скачування шлаку після десульфурації. У цьому відділенні кожен ківш знімається краном із лафета та транспортується до машини для видалення шлаку. Шлак із ковша скидається у спеціальну шлакову чашу, розташовану під машиною.

Після очищення від шлаку ковші знову встановлюють на лафети й доставляють до міксерного відділення. Там рідкий чавун із ковшів переносять кранами до одного зі стаціонарних міксерів. Періодично шлак із міксерів також видаляється спеціальними машинами в шлакові чаші. Після цього рідкий чавун зливається зі стаціонарного міксера у заливний чавуновозний ківш, який встановлюється на самохідний візок з

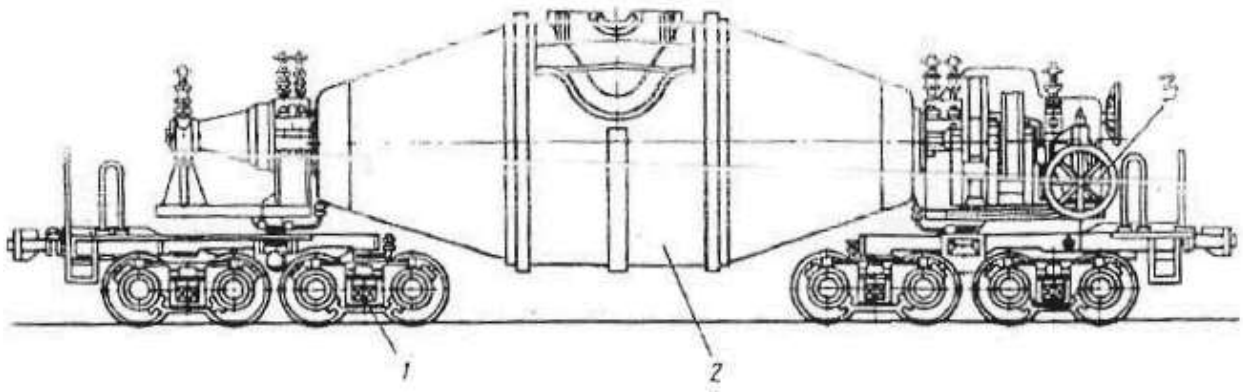
дистанційним керуванням. У випадку невеликих конвертерних печей чавуновози встановлюються тепловозами. Перед заливкою чавун піддають процедурами: його зважують, вимірюють температуру для точного прогнозування кінцевої температури металу та забирають зразки для проведення хімічного аналізу в експрес-лабораторії. Після цього чавуновозний ківш доставляється у верхнє відділення конвертерного цеху, де перед заливкою чавуну в конвертер додають попередній шар шлаку.

Чавуновоз міксерного типу складається з корпусу із вогнетривким футеруванням, встановленого на опорних підшипниках, приводу повороту, кабіни управління, ходової частини та системи змазування. Міксерні чавуновози ємністю від 50 до 600 тонн активно використовуються у багатьох країнах світу. Вони призначені як для внутрішньозаводського транспортування рідкого чавуну, так і для перевезень на значні відстані. Застосування цих міксерів знижує кількість обов'язкових переливів металу, що дозволяє суттєво скоротити теплові втрати. Температура чавуну, що надходить у конвертер зі стаціонарного міксера, зазвичай є на 50 °С нижчою за температуру чавуну з міксерних чавуновозів. Зниження температури чавуну при кожному переливанні становить приблизно 30 °С.



I – відділення завантаження шлаку; II – міксерне відділення; III-завантажувальне відділення; 1 - чавуновозний ківш; 2 - лафет; 3 - мостовий кран; 4,9 - машини для скачування шлаку з чавуновозного ковша та з міксера; 5 - шлакова чаша; 3 - стенд; 7 - міксер; 8 - установка для вимірювання температури; 9 - машина для скачування шлаку; 10 - заливальний чавуновозний ківш; 11 - самохідний чавуновозний візок; 12 - ваги для зважування чавуновозного ковша; 13 - заливальний кран

Рисунок 1.4 – Технологічна схема подачі чавуну в киснево-конвертерному цеху



1 візок ходової частини; 2-корпус; 3-привід повороту

Рисунок 1.5 - Чавуновоз міксерного типу

Пересувний міксер отримує чавун із доменної печі, після чого він локомотивом доставляється у відділення переливу киснево-конвертерного цеху. У цьому відділенні механізм повороту міксера під'єднується до цехової електромережі. Після активації приводу корпус міксера обертається, і чавун через спеціальну горловину переливається в заливний ківш, який розташований на пересувному ваговимірювальному візку. На візку чавун зважується та транспортується до крана, що доставляє ківш безпосередньо до конвертера для проведення заливки чавуну. Процес керування чавуновозами здійснюється дистанційно з пульта управління.

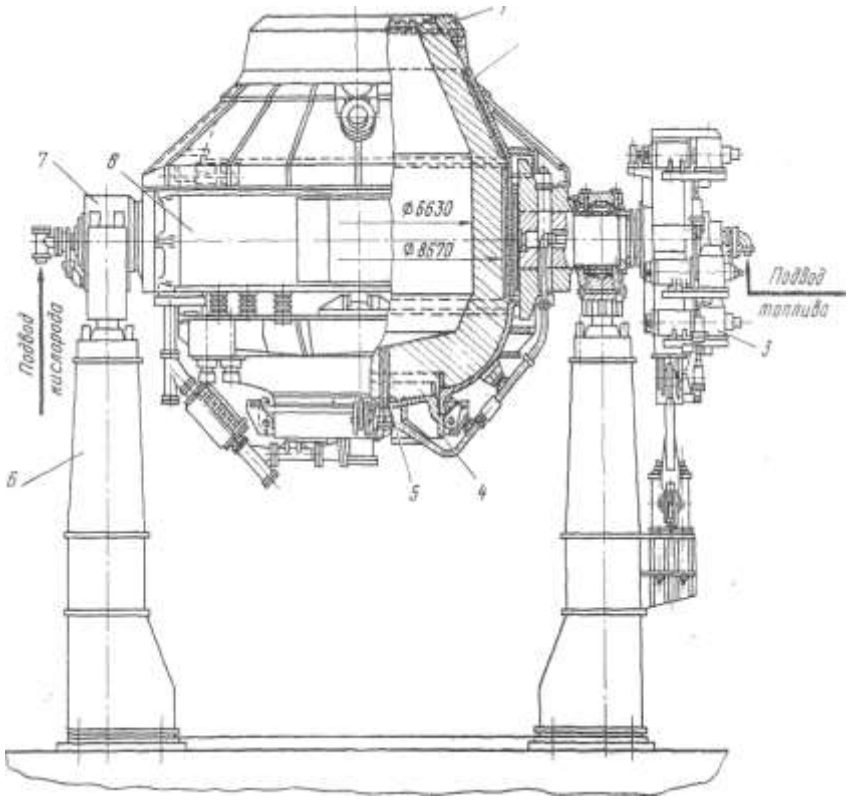
2 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

2.1 Конструкція конвертера з комбінованим продуванням

Конвертери з комбінованим продуванням (рис. 2.1) мають ряд переваг у порівнянні з конвертерами з верхнім подаванням кисню. Зокрема, їхній питомий об’єм менший (0,5–0,8 м³/т), що дозволяє продувати більшу кількість металу в конвертерах того ж об’єму. Співвідношення висоти до діаметра конвертера зазвичай ближче до одиниці. Проте стійкість футерування днища у таких конвертерів трохи нижча, ніж при верхньому поданні кисню. Оскільки днища пошкоджуються частіше, ніж стінки, їх конструкція виконується окремо. У центральній частині днища залежно від ємності конвертера встановлюється від 2 до 22 фурм для подачі кисню.

У зоні проникнення кисневого струменя у метал під впливом високих температур відбувається ендотермічна реакція розкладання вуглеводнів. У результаті цього кільцевий потік газу або рідкого палива виконує функцію охолоджувача, захищаючи фурму та футерування днища від перегріву, займання й пошкодження. Для прискорення утворення шлаку разом із киснем через внутрішню трубку фурми зазвичай подається порошкове вапно. При донному продуванні об’єм відхідних газів за одиницю часу приблизно на 20% більший порівняно із верхнім продуванням.

При цьому в складі газів міститься значно менше плавильного пилу, а середній розмір його частинок теж менший. Гази, які утворюються при донному продуванні, характеризуються підвищеним вмістом оксиду вуглецю та водню (у певні моменти концентрація H_2 може досягати 20–30%). Це висуває жорсткі вимоги до конструкції укриття конвертера, а також до роботи систем уловлювання газів з погляду безпеки та охорони праці.



1 - шолом горловини конвертера; 2 – корпус конвертера; 3 – привід конвертера; 4 - відокремлене днище; 5 – продувний пристрій; 6 – станини; 7 - опорний підшипник; 8 - опорне кільце

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд конвертера з комбінованим продувом

2.1.1 Пристрій для подачі кисню в конвертер

Основним елементом, що визначає ефективність киснево-конвертерного процесу, є фурма, призначена для подачі кисню в конвертер. Введення кисню здійснюється за допомогою водоохолоджувальної фурми. Фурмовий пристрій забезпечує можливість переміщення фурми як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках для введення її в конвертер та заміни у разі виходу з ладу робочої фурми або встановлення резервної.

Фурмові установки для великих конвертерів зазвичай оснащуються двома фурмами: основною (робочою) та резервною, а також двома механізмами переміщення. Це сприяє оперативній заміні несправної фурми на резервну, зводячи

до мінімуму витрати часу. Все обладнання для підйому та переміщення фурми розташовується на спеціальних платформах над конвертерами.

Киснева фурма використовується для подачі технічно чистого кисню з оптимальною інтенсивністю, формування направленого струменя та його розсіювання у ванній конвертера. Нині інтенсивність подачі кисню становить 3–5 м³/(хв·т). За такого режиму в конвертер об'ємом 200 тонн подається до 1100 м³/хв кисню під тиском у межах 0,85–1,5 МПа.

На рисунку 2.2 зображено конструкцію ключового елемента — фурми. Вона складається з трьох сталевих цільногнутих труб (поз. 1, 3 і 4), що розташовані концентрично одна в іншій. Кожна з труб забезпечена патрубками (поз. 6), до яких приєднуються металорукава для подачі кисню та води, яка охолоджує головку фурми. Через внутрішню трубу надходить кисень, а вода для охолодження подається через внутрішній кільцевий канал між трубами 4 і 3. Після того як вода охолодить головку фурми, її напрямок змінюється та вона відводиться через зовнішній кільцевий канал між трубами 3 і 1.

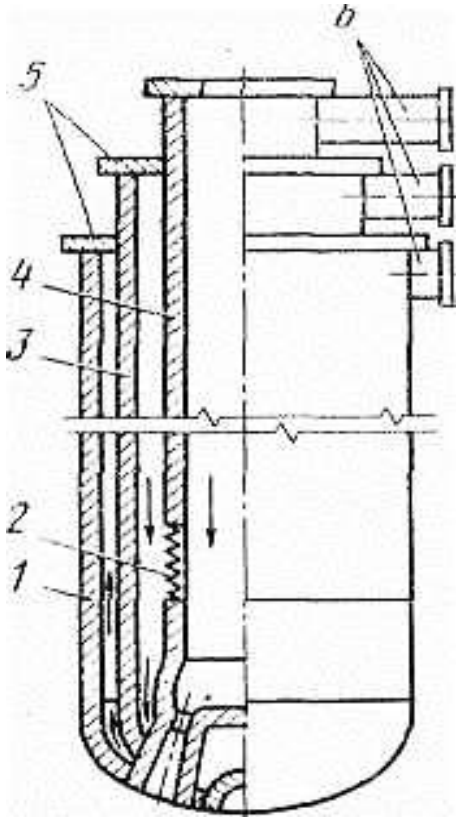


Рисунок 2.2 - Киснева фурма із центральним підведенням кисню

Для зниження термічної напруги, що виникає внаслідок різного теплового розширення зовнішніх і внутрішніх труб, використовують компенсатори сильфонного типу. Сальникові ущільнення між трубами забезпечують можливість їх взаємного переміщення при неоднакових температурних подовженнях. Окрім цього, застосовуються й інші види компенсаторів: сальникові, лінзові, мембранні, тарілчасті, телескопічні та їх комбінації. Під час роботи фурма постійно охолоджується водою. Щоб уникнути закипання води та утворення накипу, швидкість її руху має бути не менше 6,0 м/с. Перепад температури води на вході й виході з фурми повинен залишатися в межах 15-20°С.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка шлакоутворювальних сумішей для розливання сталі на МБЛЗ

Одним із ключових завдань сучасної металургії є розробка та впровадження інноваційних технологій, які забезпечують високу чистоту заготовок від неметалевих включень у прокаті, виготовленому з безперервно литих слябів, за умови мінімізації енерго- й матеріальних витрат (рис. 3.1).

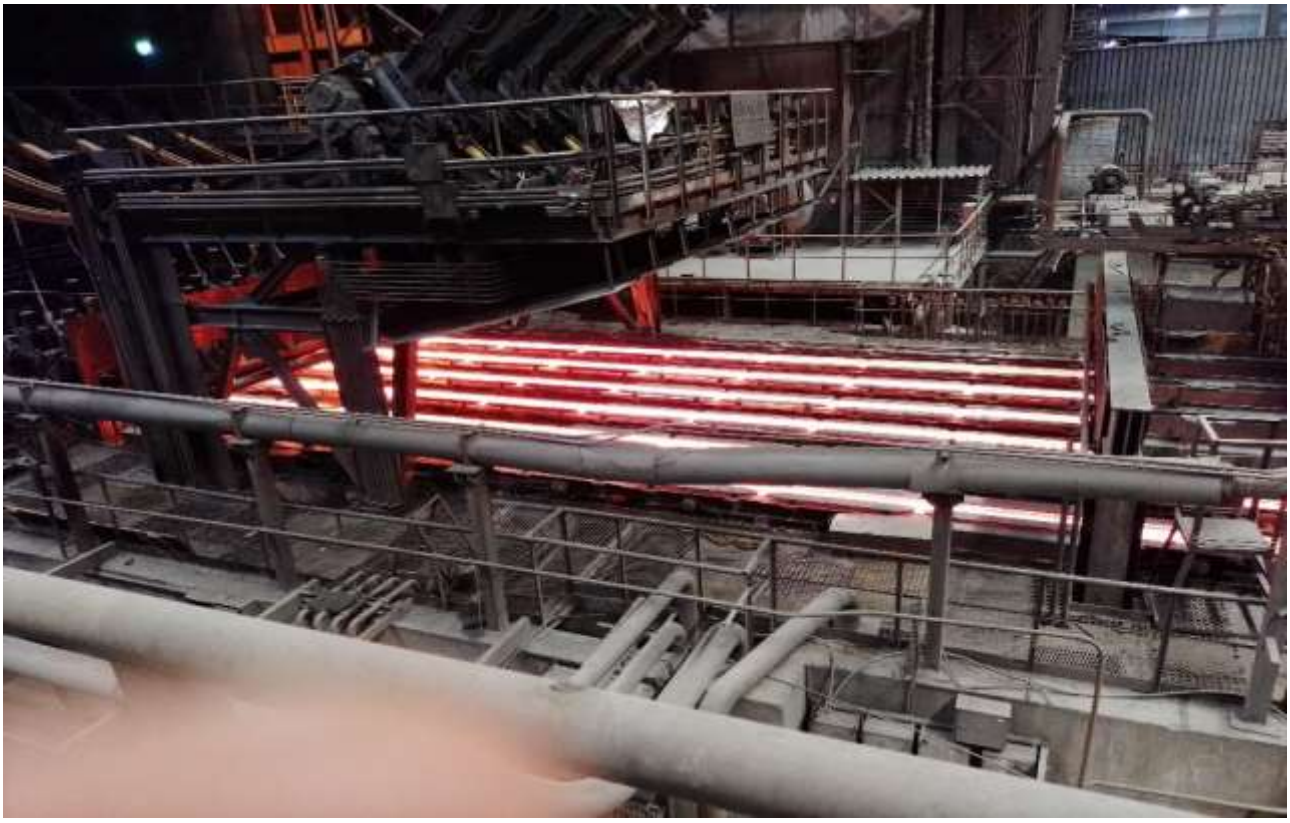


Рисунок 3.1 – Загальний вид розливки сталевої заготовки на МБЛЗ

Ключовим компонентом машин безперервного розливання заготовок (МБЛЗ), у якому ще можливо виконувати операції зі зниження забрудненості металу неметалічними включеннями, є проміжний ківш.

У конвертерному цеху ПАТ «МК «Азовсталь» функціонували чотири двострумкові МБЛЗ: три криволінійного типу та одна з вертикальною ділянкою. Основні технічні характеристики криволінійних МБЛЗ представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики МБЛЗ

Параметр	Номер МБЛЗ	
	3 та 5	4
Розміри слябів, що відливаються, мм	220, 240, 250 *, 1250 ... 2000	220, 250, 300 *, 1550 ... 1850
Швидкість розливання, мін	0,6..0,9	0,7...1,0
Базовий радіус, м	10	10
Довжина кристалізатора, мм	1000	1200
Тип механізму хитання	електромеханічний	гідравлічний
Вторинне охолодження	водо-повітряне	водо-повітряне
Автоматичне підтримання рівня металу в кристалізаторі	+	-
Механічна заміна склянок, що занурюються.	+	+
Зносостійке покриття робочої поверхні кристалізатора	+	+

Постановка завдання ВАТ «НВП «Техмет» та ДонНІЧормет була пов’язана із необхідністю розробки складів сумішей для захисту дзеркала металу кристалізаторів МБЛЗ «МК «Азовсталь». Ці суміші мали забезпечувати збереження експлуатаційних властивостей протягом тривалих термінів зберігання, мінімізувати відсортування листового прокату різноманітного сортаменту через дефекти типу «плєна» та «УЗК», а також дозволити виведення власної ділянки з виробництва шлакоутворювальних сумішей ШОС-5М зі структури виробництва на «МК «Азовсталь».

У рамках досліджень були застосовані суміші на основі плавлених флюсів ШОС-Т-2 (ТУ У 23431197.003-99 «Суміші шлакоутворювальні рафінувальні») з різними складами, регулятори швидкості плавлення (вуглецевмісні матеріали — УСМ), а також речовини, які регулюють швидкість плавлення та фізико-хімічні властивості рідини на поверхні сляба і стінці кристалізатора, яка охолоджується.

Характеристики в’язкості розплавів ШОС досліджувалися за допомогою вдосконаленого високотемпературного вібраційного віскозиметра. Основою методики став амплітудно-амплітудний варіант вібраційного методу вимірювання в’язкості, орієнтований на досягнення максимальної амплітуди. Це дозволило використовувати коливальну систему для стабілізації частоти сили, яка збуджує коливання, без необхідності постійно налаштовувати резонансні параметри системи та їх абсолютну сталість. Таким чином, вся похибка вимірювання в’язкості була зведена до помилок

у визначенні амплітуди коливань, а відносна похибка у визначенні абсолютних значень динамічної в’язкості становила ±3%. Блок-схема високотемпературного віскозиметра представлена на рисунку 3.2.

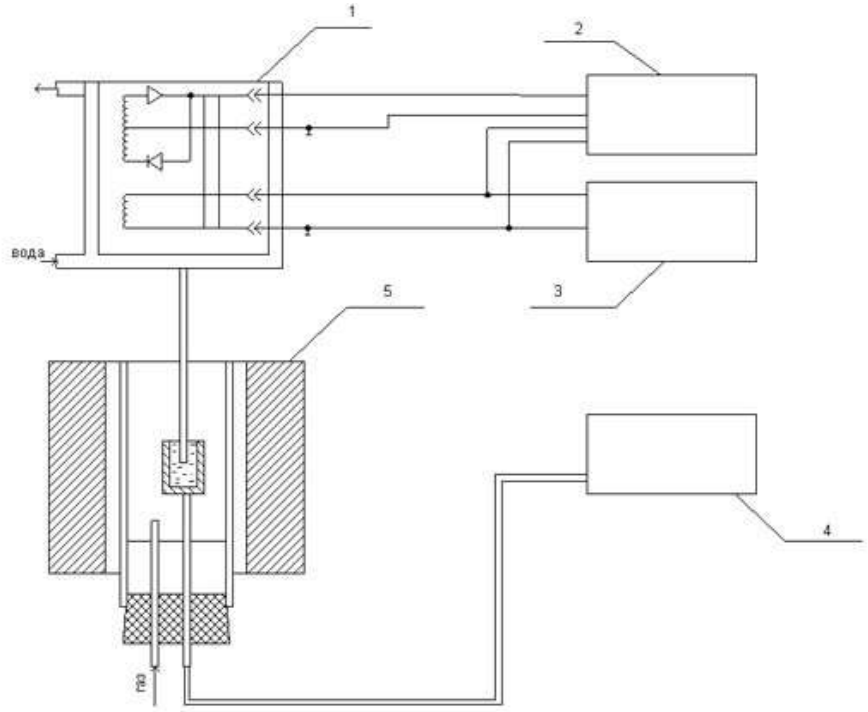


Рисунок 3.2 – Блок-схема високотемпературного віскозиметра: 1 – вібратор, 2 – підсилювач-обмежувач, 3 – мілівольтметр В7-40/3, 4 – ПП-63, 5 – піч Таммана

Ефективне екранування вібраційної системи забезпечує можливість вимірювання в'язкості розплавів без переривання роботи нагрівальної печі, що дозволяє проводити дослідження із заданою швидкістю зміни температури. Завдяки термостатуванню вдається підтримувати стабільними механічні характеристики пружинної підвіски, електромагнітні параметри вібратора, а також стабілізувати резонансну частоту всієї вібраційної системи приладу.

Для калібрування приладу використовувалися розчини гліцерину у дистильованій воді як еталонний матеріал. Температура випробувальних розчинів задавалася за допомогою термостата.

В'язкість шлакоутворювальних сумішей (ШОС) досліджувалася у молібденовому тиглі, поміщеному в ізотермічну зону печі Таммана. Для цього застосовувався вольфрамовий шток діаметром 1,2 мм і довжиною 250 мм. Досліди виконувалися в атмосфері аргону. Після ізотермічної витримки розплавленого шлаку при темпера-

турі 1580 °С протягом 30 хвилин вимірювання в'язкості проводилися під час охолоджування зі швидкістю 4 °С/хв до моменту затвердіння шлаку, при цьому фіксувалася відповідна температура.

Зазначимо, що визначення в'язкості розплавів сумішей, які містять вільний вуглець, є доволі складним завданням. У процесі плавлення таких сумішей в інертній атмосфері вуглець частково спливає, накопичуючись на поверхні шлаку та спотворюючи реальні показники в'язкості.

З огляду на те, що у кристалізаторі вуглець згорає, залишаючи на поверхні металу рідкий шлаковий прошарок із мінімальним вмістом цього елемента, початкові суміші піддавали відпалу в окисному середовищі при температурі 600 °С протягом 4 годин. Це дозволило знизити концентрацію вуглецю до рівня менше ніж 0,5%.

Для перевірки функціональності установки та коректності обраної методики проводилися експерименти з використанням імпортних сумішей із задекларованими виробником хімічним складом та показником в'язкості.

Новизна даного дослідження полягає у розробці й удосконаленні підходу до створення конкретних ШОС. З урахуванням умов експлуатації ШОС (тип кристалізатора, швидкість розливу, тип сталі тощо) здійснювалося моделювання шлакоутворювальної суміші з заданими фізико-хімічними властивостями. Ці параметри вдалося змінювати шляхом оптимального підбору флюсів, матеріалів із вмістом вуглецю, активних розріджувачів та мінералізаторів для досягнення найкращих властивостей у високотемпературному інтервалі охолодження металу.

На основі попередніх досліджень для визначення коефіцієнтів в'язкості було обрано базовий флюс ШОС-Т-2 з основністю 0,85. Його хімічний склад наведено у таблиці 3.2. Для подальших експериментів використовували модельні суміші ШОС-Т-4-2, частина з яких представлена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад флюсу ШОС-Т-2

CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	$Fe_{заг}$	$N_2O + K_2O$	S	P	Основність
35.60	42.00	3.20	2.90	0.67	8.70	0,32	6.54	0.85

Таблиця 3.3 – Хімічний склад модельних сумішей

Суміш	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	F	Na_2O+K_2O	C	Основність
ШОС-Т-4-2-3	35.63	32.60	3,07	2,95	7,69	7,25	9.75	1,09
ШОС-Т-4-2-32	35.16	33.43	3,14	3,03	7,36	7,44	9.13	1,05
ШОС-Т-4-2-33	34.08	33,95	3.19	3,07	7,42	7,53	10.43	1,00
ШОС-Т-4-2-35	33.61	34.77	3.26	3.15	7.09	7,73	10.31	0.97

Криві в'язкості шлакових розплавів для згаданих сумішей представлені на рисунку 3.3.

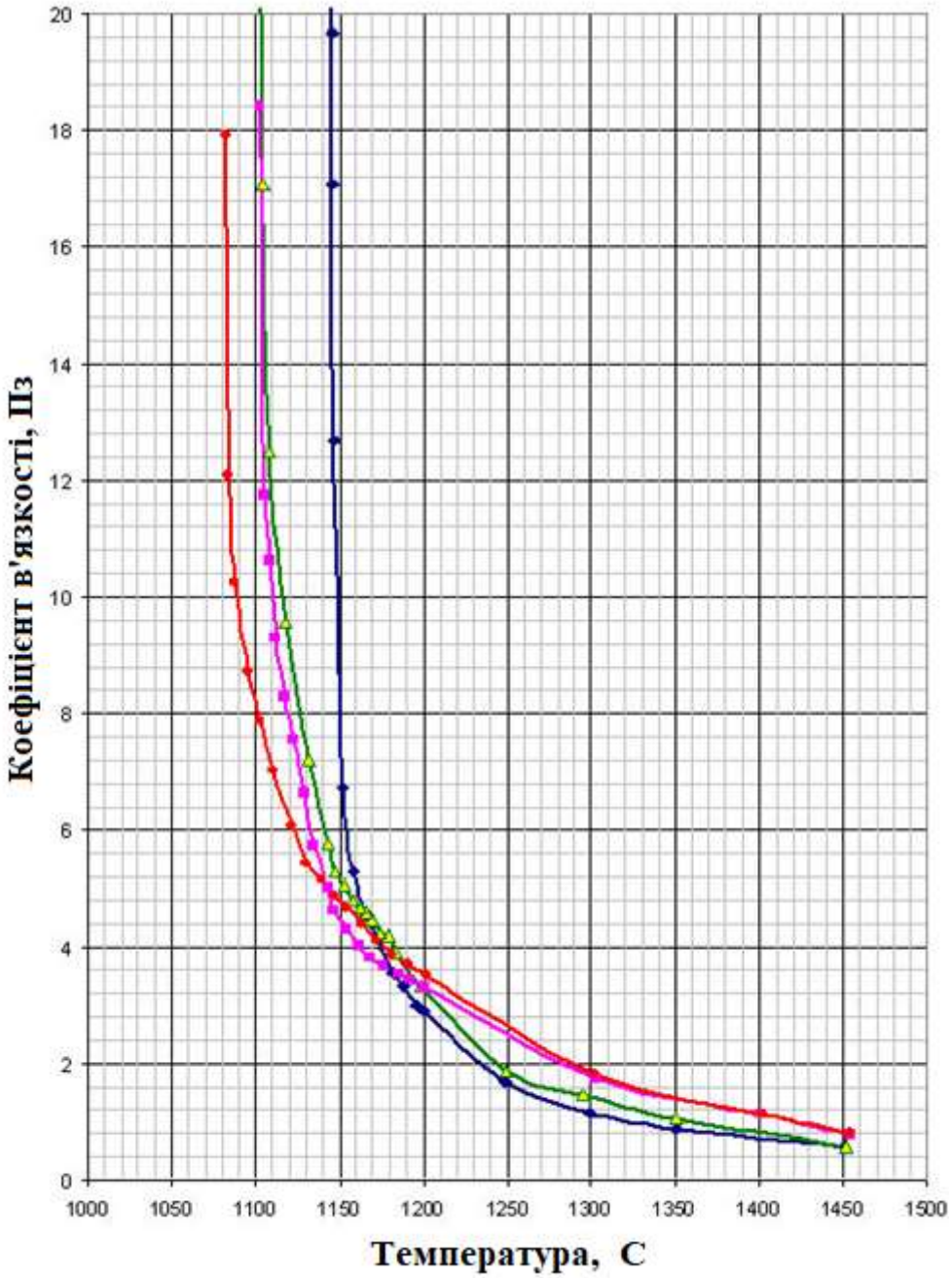


Рисунок 3.3 – Політерми в'язкості розплавів деяких варіантів ШОС-Т-4-2

На основі проведених фізико-хімічних досліджень попередньо була обрана суміш ШОС-Т-4-2-аз-3, надалі згадувана як ШОС-Т-4-2(З). Хімічний склад шлакоутворюючої суміші ШОС-Т-4-2(З) наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Хімічний склад шлакоутворюючої суміші ШОС-Т-4-2(З)

$CaO_{заг}$	SiO_2	MgO	Al_2O_3	MnO	$Fe_{заг}$	F	CaF_2	C	R_2O	Основність
35.70	33.3	3.6	1.27	0.06	0.6	7.41	15.2	8.8	6.2	1.07

Шлакоутворювальна суміш марки ШОС-Т-4-2(З), призначена для застосування в кристалізаторі МБЛЗ, проходила випробування на криволінійних машинах безперервного лиття заготовок №3–5 у конвертерному цеху «МК «Азовсталь». Спершу суміш ШОС-Т-4-2(З) використовувалася лише на одному струмку МБЛЗ, а пізніше її почали застосовувати на обох струмках. На інших струмках паралельно використовували порошкоподібну суміш ШОС-5М власного виробництва «МК «Азовсталь» або імпортні аналоги. У деяких випадках проводили зміну типу суміші залежно від струмка.

Результати дослідно-промислових випробувань шлакоутворювальної суміші ШОС-Т-4-2(З), серійної суміші ШОС-5М та імпортних сумішей відображено на рисунку 3.4.

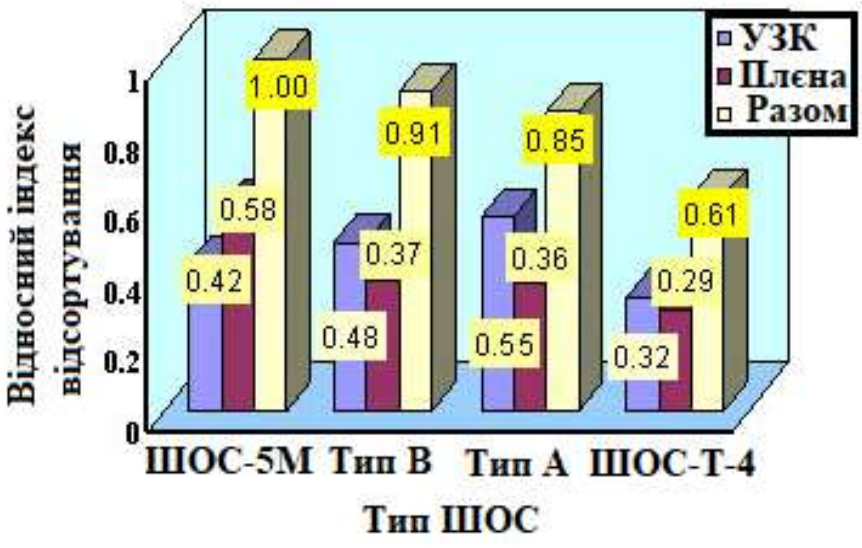


Рисунок 3.4 – Відсортування металу, розлитого під шлакоутворюючими сумішами різних виробників

Питома витрата дослідної суміші в аналізований період становила 0,65–0,70 кг/т сталі, що відповідає рівню витрат серійної ШОС-5М та аналогічних сумішей закордонних виробників.

Недоліків у роботі суміші ШОС-Т-4-2(З), які могли б спричинити нестабільність у функціонуванні обладнання МБЛЗ або створити аварійні ситуації, виявлено не було. На основі проведених дослідно-промислових випробувань ухвалено рішення про організацію промислових тестувань технології використання шлакоутворювальних сумішей від різних постачальників.

Порівняльні результати повторних випробувань ШОС-Т-4-2(З) і продуктів інших виробників наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Середні дані за результатами прокатки дослідних та порівняльних слябів

Марка ШОС	Прокатано листів, шт	Відсортування листового прокату, відн. індекс		
		плєна	УЗК	Усього
ШОС-Т-4-2(З)	4447	0,35	0,26	0,61
Інші ШОС	3989	0,30	0,57	0,87
Інші ШОС без ШОС-5М	2278	0.31	0.69	1.00

На основі аналізу отриманих результатів сортування металу було ухвалено рішення щодо виготовлення наступних партій шлакоутворювальної суміші ШОС-Т-4-2, хімічний склад якої має відповідати таким вимогам (у масових відсотках): CaO – 36,0 (±1,5%), SiO_2 – 33,0 (±1,5%), F – 7,0 (±1%), C – 10,0 (±1%), MgO – 3,0 (±1%), Al_2O_3 – 3,0 (±1%), $Na_2O + K_2O$ – 6,5 (±1%).

Варто підкреслити високу гнучкість технології виготовлення суміші ШОС-Т-4-2, яка забезпечує можливість досить точного дотримання заданого хімічного складу шлакоутворювальної суміші.

Стабільність хімічного складу шлакоутворювальних сумішей гарантує незмінність їхніх фізичних властивостей, зокрема в'язкості, температури плавлення та поверхневого натягу на межі фаз «шлак-метал». Суміш ШОС-Т-4-2(З) вирізняється стабільними показниками за головними хімічними компонентами.

Застосування суміші ШОС-Т-4-2(3) у процесі роботи МБЛЗ № 3-5 комбінату «ММК «Азовсталь» дозволило успішно відлити близько 1500 плавок сталей широкого марочного асортименту. У ході експлуатації суміші, за результатами візуального спостереження, змін у її поведінці на поверхні металу в кристалізаторі не виявлено. Середня витрата матеріалу становила 0,65–0,70 кг на тонну сталі. З боку технологічного персоналу зауважень щодо роботи суміші у кристалізаторі не надходило.

На рисунках 3.5 та 3.6 наведені результати сортування металу в умовах потокового виробництва.

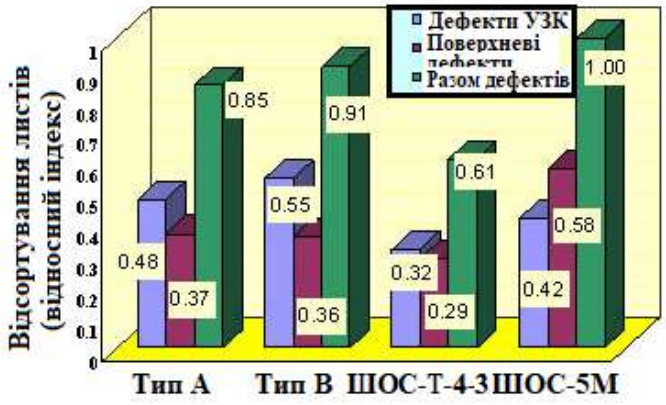


Рисунок 3.5 – Відсортування листового прокату
за дефектами сталеплавильного виробництва

На рис. 3.5 показано, що індекс відсортування металу, відлитого за технологією ШОС-Т-4-2(3), є меншим у порівнянні з індексом відсортування металу, виготовленого з використанням сумішей імпортного виробництва.

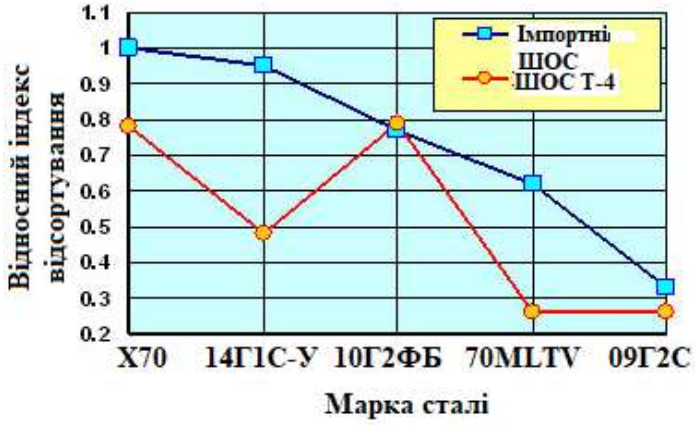


Рисунок 3.6 – Відсортування листового прокату низьколегованих марок сталі
за дефектами сталеплавильного виробництва: імпортні ШОС; ШОС Т-4

Як видно з рисунка 3.6, індекс відсортування для відповідальних марок сталі, таких як 09Г2С, Х70, 70MTLTV, 17Г1СУ, відлитих за технологією ШОС-Т-4-2(З), є нижчим порівняно з металом, виготовленим із використанням імпортної суміші, на 0,07–0,47 відносних одиниць.

Порівняльний аналіз ефективності використання ШОС-Т-4-2(З) та імпортних сумішей буде продовжено для вуглецевих сталей перитектичного класу й низькокремнистих марок сталі.

3.2 Розробка комплексного складу шлакоутворювальних сумішей, залежно від їх властивостей та хімічного складу

3.2.1 Функції та властивості шлакоутворювальних сумішей для безперервного розливання сталі

Велика кількість досліджень у сфері безперервного розливання сталі зосереджена на аналізі складу шлакоутворювальних сумішей (ШУС) і шлаків, що формуються з них, а також на вивченні механізму взаємодії ШУС у кристалізаторі машин безперервного лиття заготівок (МБЛЗ) та їхнього впливу на якість металопродукції.

За умов високих температур на меніску розплаву з вихідної шлакоутворювальної суміші формується шар рідкого шлаку, частина якого просочується в зазор між стінками кристалізатора і поверхнею, що утворюється на заготовці. У процесі витягування заготовки з кристалізатора частина шлаку відводиться разом із самою заготівкою.

Для забезпечення стабільного рівня рідкого шлаку і шару порошку на його поверхні регулярно додаються нові порції ШУС.

Шлакоутворювальні суміші виконують низку важливих функцій у процесі безперервного розливання сталі, серед яких:

– захист рідкого металу від окиснення;

– теплоізоляція поверхонь шлаку та металу;

– поглинання неметалевих включень;

– забезпечення мастила між поверхнею кристалізатора та заготовкою;

– покращення теплопередачі в зоні кристалізації.

Захист поверхні рідкого металу від окислення, а також забезпечення змащування між стінками кристалізатора і заготовки досягається завдяки наявності на меніску поверхні шлакової плівки. Ця плівка має бути легкоплавкою, достатньо рухомою та мати певну товщину, яка залежить від температури плавлення шлаку, його в'язкості й швидкості утворення. Особливу роль відіграють властивості шлаку, зокрема в'язкість при температурах, близьких до температур лиття і кристалізації сталі.

Теплова ізоляція поверхні шлаку та металу потрібна для запобігання твердненню меніска та появі "містків" між металом, шлаком, занурювальним стаканом і поверхнею кристалізатора. Цього досягають відповідним тепловим опором і товщиною шару порошку ШУС (шлакозахисної установки сипучої), нанесеного на поверхню шлаку. Важливими є й теплові процеси в нагрітому шарі ШУС, такі як видалення вологи та окислення вуглецю.

Ідеальне співвідношення між товщиною рідкого шару шлаку і порошкоподібного ШУС становить 10-15 мм і 50-100 мм відповідно. Варто зауважити, що теплопровідність порошку приблизно в десять разів нижча, ніж у рідкому шлаку, і складає близько 0,5 Вт/(м·°К). Цей показник залежить від фракційного складу та хімічного складу самого порошку.

Теплові процеси в нагрітому шарі ШУС також впливають на теплоізоляцію рідкого шлаку. Наприклад, за наявності вологи у ШУС на рівні 1% теплоємність при температурах до 100°С зростає на 22,5%, що збільшує тепловий бар'єр і може порушити стабільність процесу безперервного лиття. У таких умовах шлак частково твердіє на поверхні, що може викликати формування ширших шлакових облямівок.

Для покращення теплоізоляції металевого дзеркала до складу ШУС вводять додаткові теплоносії. Найчастіше це вуглецевмісні матеріали, які завдяки своїй теплотворній здатності істотно сприяють кращому утворенню шлаку в зоні кристалізації.

Якість змащення та ефективність теплообміну в кристалізаторі МБЛЗ (машина безперервного лиття заготовок) залежать від наявності й текучості шлакової плівки між поверхнями кристалізатора та заготовки. Для створення однорідної рідкої плівки необхідно, щоб шлак був достатньо рідким і мав низьку точку плавлення, а об'ємна кількість шлаку відповідала швидкості розплавлювання суміші.

Виконання необхідних функцій ШУС забезпечується оптимально підібраними фізико-хімічними властивостями матеріалу та утворених із нього шлаків. Серед ключових характеристик ШУС виділяють температурні параметри плавлення суміші й шлаку, в'язкість і швидкість шлакоутворення, які визначаються хімічним складом, гранулометрією і мінералогічними властивостями вихідних матеріалів (показники наведено у таблиці 3.6).

Таблиця 3.6 – Властивості шлакоутворювальних сумішей, що застосовуються для безперервного розливання сталі

Характеристика	Одиниця виміру	Величина
Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м·К)	0,4÷2,1
Питома теплоємність	Дж/(кг·К)	0,1
Питомий коефіцієнт теплообміну	Вт/(м^2·К)	720÷1250
Питома насипна маса	кг/м^3	600÷1150
Фракційний склад	мм	0,05÷0,5
Вологість	% мас.	0,5÷0,8
Температура розм'якшення	°С	920÷1260
Температура рідкоплинності	°С	980÷1400
Швидкість плавлення	кг/(м^2·с)	0,015÷0,040
Товщина шлаку на меніску	мм	1÷50
Питома витрата ШУС	кг/т рідкої сталі	0,3÷1,1
Коефіцієнт динамічної в'язкості	Па·с	1300 °С 0,03÷4,5 1500 °С 0,01÷3,9
Вміст FeO	% мас.	≤5,5
Основність (CaO/SiO_2)	од.	0,5÷1,4
Вміст вільного вуглецю	% мас.	0÷65
Вміст Al_2O_3	% мас.	≤15
Вміст сірки	% мас.	≤0,6

Захисні суміші, які застосовуються під час розливу сталі, класифікуються залежно від складу шлакових розплавів і поділяються на три основні групи, відповідно до таких систем:

1) $SiO_2 – Al_2O_3 – (MnO, FeO)$;

2) $SiO_2 – Al_2O_3 – R_2O$;

3) $CaO – SiO_2 – Al_2O_3$.

Як флюсуючі добавки до складу сумішей використовуються фтористі й борисні сполуки, а також оксиди заліза, марганцю, натрію чи калію. Для покращення плавильних характеристик і теплоізоляційних властивостей зазвичай додають вуглецевмісні речовини (УСВ) або нітрид бору.

Більшість теплоізоляційних сумішей, які застосовуються для захисту поверхні металу у кристалізаторі, мають такий хімічний склад (% маси):

CaO	SiO_2	Al_2O_3	R_2O	C	MnO
15÷45	15÷45	0÷15	0÷20	2÷20	0÷20

Багато розробок стосується мінералогічних складів ШУС, що обумовлено економічними вимогами та особливостями сировинної бази об'єкта застосування. Використання ШУС для захисту поверхні металу забезпечує стабільність процесів лиття як слябових, так і сортових заготовок з вуглецевої, низьколегованої, легованої та високолегованої сталі. До цієї категорії належить і ШУС виробництва металургійного комбінату «Азовсталь», яка характеризується таким хімічним складом (у масових відсотках):

вуглецевмісні речовини – 2÷15;

нефелін – 10÷40;

плавиковий шпат - 15÷20;

силікатна брила – 5÷20;

цемент – інше.

У цій суміші як вуглецевмісний компонент використовується аморфний графіт.

Для покращення теплоізоляційних характеристик шлакоутворювальних сумішей (ШУС) застосовуються різні вуглевмісні матеріали (ВВМ). Наприклад, на

блюмовій установці безперервного розливу сталі (УБРС) Білоруського металургійного заводу випробовували ШУС із включенням нафтового коксика. Однак, надмірно активне горіння нафтового коксика створювало труднощі як під час запуску УБРС, так і при стабілізації рівня металу в кристалізаторі. До того ж нафтовий коксик має значно вищу вартість порівняно з аморфним графітом.

Компанія «Metallurgica» у виробництві гранульованих шлакоутворювальних сумішей для безперервного розливу сталі використовує як ВВМ сажу. Окрім цього, відомі випадки застосування для ШУС інших вуглецевмісних матеріалів, таких як коксовий пил, пірокарбон і відходи рослинного походження.

На металургійних підприємствах України, зокрема на ПАТ «МК Азовсталь», аморфний графіт широко використовується у складі теплоізоляційних сумішей (ТІС).

3.3 Роль вуглецевмісних матеріалів у складі шлакоутворювальних сумішей для безперервного розливання сталі

Як зазначалося раніше, ВВМ відіграють важливу роль у забезпеченні теплоізоляції поверхні рідкого металу та впливають на процес утворення шлаку в кристалізаторі МБЛЗ. Додавання до складу ШУС порошків вільного вуглецю сприяє роз'єднанню частинок, що, своєю чергою, знижує швидкість утворення шлаку. Наприклад, включення 1% порошку графіту в безвуглецеву порошкову суміш дозволяє зменшити швидкість її плавлення в 3,3 раза, водночас товщина шлакового розплаву в кристалізаторі скорочується приблизно удвічі. Подальше двократне зниження товщини відбувається при збільшенні концентрації графітового порошку до 3%.

Роз'єднувальну дію вуглецевмісних порошків, що входять до складу ШУС, підтверджено у роботі. Підвищення рівня аморфного графіту від 1 до 5% призводить до зменшення швидкості шлакоутворення з 0,15 до 0,06 кг/(м²·с). У свою чергу, додавання тієї ж кількості сажі з розміром частинок 20 мкм майже повністю блокує процес формування шлаку.

Таку дію вільного вуглецю на властивості суміші можна пояснити його нездатністю розчинятися у шлаку, що запобігає коагуляції частинок, які формують шлак. При дії високих температур рідкої сталі відбувається газифікація вуглецю, і зменшення його кількості сприяє інтенсифікації формування рідкого шлаку. Таким чином, швидкість шлакоутворення прямо залежить від реакційної здатності вуглецю, яка вимірюється в г/(кг·хв).

Окрім того, теплоізоляційна дія порошків вільного вуглецю пояснюється тим, що під час їх окиснення виділяється значна кількість тепла. Процеси горіння вуглецю можна спостерігати візуально, а також підтвердити результатами хімічного аналізу захисного покриття під час розливання. У випадку безперервного розливання сталі із застосуванням теплоізоляційних сумішей, які містять 28,9% і 38% вільного вуглецю, кількість останнього у сипучому захисному шарі зменшується до 10% та 6% відповідно. У складі ж шлакового покриття концентрація вільного вуглецю не перевищує 0,8%.

В діапазоні температур 298–1300 К теплові ефекти (ΔНт°) продуктів реакції мають такі значення:

Реакция:	$\Delta H_т°$, кДж/кг
$C + 0{,}5 \cdot O_2 = CO$	9300
$CO + 0{,}5 \cdot O_2 = CO_2$	23500
$C + O_2 = CO_2$	32900

При окисненні 1 кг вуглецю до вуглекислого газу (CO_2) виділяється приблизно 32 900 кДж енергії, що близьке до того показника, який отримуємо при окисненні 1 кг алюмінію до Al_2O_3 (31 100 кДж). У випадку окиснення вуглецю до монооксиду (CO) кількість тепла, що виділяється, є в 3,5 рази меншою. На основі практичного досвіду проведення алюмотермічного процесу кількість необхідного тепла для екзотермічної реакції можна орієнтовно визначити як не менше 2300 кДж на 1 кг шихти.

Таким чином, щоб отримати 2300 кДж тепла, потрібно окислити до CO_2 0,078 кг вуглецю на 1 кг шихти, що складає 7,8% від загальної маси суміші. Якщо

окиснення відбувається лише до CO, то необхідно окислити близько 0,3 кг вуглецю на 1 кг шихти, тобто близько 30% від складу шихти.

Дослідження фізико-хімічних процесів у теплоізолюючих сумішах показали, що вуглець у їх складі сприяє протіканню процесів горіння, що суттєво впливає на теплоізоляційні властивості сумішей. Теоретичний аналіз дозволив оцінити чинники, які впливають на швидкість процесу горіння вуглецю в теплоізолюючих сумішах.

Тривалість горіння частинок вуглецю в шарі суміші визначається за такою формулою:

$$\tau = 1 / (A \cdot V_S), \quad (3.1)$$

де A - постійна величина;

V_S – питома швидкість горіння вуглецю.

Питома швидкість горіння вуглецю:

$$V_S = \beta \cdot C_{O_2} / (1 / \alpha_p + 1 / \alpha_q), \quad (3.2)$$

де C_{O2} - концентрація кисню на поверхні частки;

α_p – коэффициент реакционного газообмена:

$$\alpha_p = (S / S_a) \cdot K_a \cdot e^{-E/RT} , \quad (3.3)$$

де E - енергія активації;

R - постійна газова;

S_a – зовнішня поверхня частки;

K_a - передекспоненційний множник;

α_q – коефіцієнт дифузійного обміну:

$$\alpha_q = (D_{O_2} / d) \cdot NU_{диф}, \quad (3.4)$$

де D_{O2} - коефіцієнт дифузії кисню;

d – діаметр частинки;

$NU_{діф}$ - дифузійний аналог критерію Нуссельта.

Аналіз формул (3.1) – (3.4) демонструє, що тривалість горіння часток вуглецю залежить від умов протікання реакції горіння та властивостей матеріалу, який спалюється. У формулі (3.3) параметри, такі як енергія активації E та коефіцієнт пористості S/S_a, визначають реакційну здатність матеріалу, що згоряє. Ця здатність обумовлена ступенем його вуглефікації (віком) і рівнем пористості. Вищий ступінь вуглефікації та зменшення пористості призводять до зниження реакційної активності матеріалу.

Щоб покращити теплоізолюючі властивості сумішей, слід зменшити швидкість горіння вуглецю. Це можна досягти шляхом контролювання фізичних умов реакції та застосування матеріалів із високим ступенем вуглефікації. У дослідженні наведено аналіз впливу питомої поверхні вуглецевмісних матеріалів (ВВМ) на ефективність їх окислення за температури 800 °C на прикладі аморфного (скритокристалічного) та кристалічного графіту. Питома поверхня аморфного графіту становить 16 см²/г, що значно більше, ніж у кристалічного графіту.

Дослідження показали, що аморфний графіт при нагріванні у повітрі в діапазоні 500–800 °C втрачає масу приблизно у три рази швидше за кристалічний графіт. При цьому у кристалічного графіту різка втрата маси починається з температури 600 °C, тоді як аморфний графіт починає окислюватися вже за нижчих температур.

Результати досліджень, проведених на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) на кількох заводах, продемонстрували, що теплоізолюючі суміші (ТІС), які містять аморфний графіт, характеризуються більш високими технологічними властивостями порівняно з тими, що включають кристалічний графіт. З’ясовано, що із підвищенням температури окислення ВВМ відбувається

зменшення швидкості утворення шлаку. Кількість вуглецевих компонентів у складі теплоізолюючого покриття слід регулювати так, щоб досягти балансу між швидкістю горіння і потребою додавання нових порцій суміші.

Таким чином, вуглецевмісні матеріали виконують роль регуляторів швидкості шлакоутворення та товщини шлакового шару на поверхні рідкого металу у кристалізаторі МБЛЗ. Їхній вплив визначається фізико-хімічними параметрами (гранулометричним складом, ступенем графітизації вуглецевої структури) і теплофізичними властивостями, такими як реакційна здатність і горючість.

3.4 Окислювальна здатність вуглецевмісних матеріалів

Окислювальна здатність високоактивних вуглецевих матеріалів (ВВМ) характеризує їх хімічну активність під час взаємодії з газовою фазою та визначає швидкість вигоряння в шарі суміші. Для оцінки цієї здатності було проведено експеримент, у рамках якого досліджували конкретні зразки матеріалів.

У ході випробування зразки масою 6–15 г розміщували в алундових тиглях діаметром 22 мм і висотою 46 мм. Тиглі заповнювали матеріалами й поміщали в шахтну піч опору типу СШОЛ, забезпечуючи рівномірні умови для нагрівання кожного зразка. Температура печі була встановлена на рівні 650 °С, і витримка тривала протягом 1,5 години. Для контролю температури використовували термопару ВР-5/20 та потенціометр КСП-4.

Під час нагрівання візуально спостерігали за станом поверхні зразків у тиглях, зокрема фіксували наявність або відсутність світіння. Було встановлено, що світіння спостерігалося у тиглях із графітом ГСС, мінералізованим вуглеграфітом, штучним графітом, аморфним графітом та антрацитовим штибом. Це свідчить про їхню підвищену хімічну активність порівняно із графітовою рудою, а також графітами ЕУЗ-М, ЕУЗ-Е та ГСР.

Після завершення експерименту матеріали першої групи (ті, що світилися) набували пісочного кольору, тоді як поверхня матеріалів другої групи залишалася чорного кольору. Для кожного зразка було визначено відносну втрату маси з

урахуванням вмісту вуглецю, який у ньому міститься. Похибка при визначенні втрати маси становила 5%.

На рисунку 3.1 представлена гістограма, яка демонструє порівняльний аналіз окислювальної здатності досліджуваних ВВМ через відносну втрату маси у відсотках.

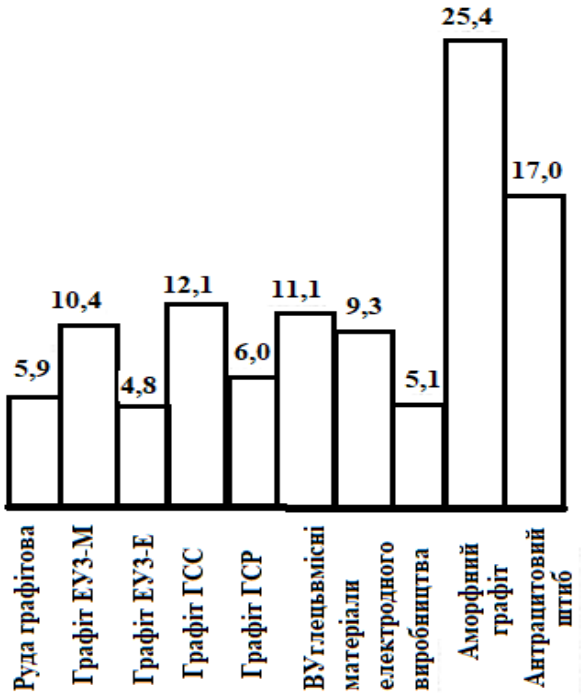


Рисунок 3.7 – Окислювальна здатність різних вуглецевмісних матеріалів

Цифри – відносна втрата маси (%) при витримці матеріалу протягом 1,5 години при температурі 650 °С

Як показано на рисунку, окислювальна здатність різних ВВМ значно варіюється. Найвищі показники спостерігаються в аморфного графіту — 24,4 %, тоді як найнижчі значення мають кристалічні графіти марки ЕУЗ-Е та руда — відповідно 4,8 % і 5,9 %.

Окислювальна здатність графіту марки ЕУЗ-М, мінералізованого графіту та графіту ГСС перебуває приблизно на одному рівні.

3.5 Кінетика плавлення шлакоутворювальних сумішей вибраних складів

Кінетика плавлення шлакоутворювальних сумішей (ШУС) визначається як швидкістю плавлення, так і часом, необхідним для цього процесу. Вона має значний вплив на такі параметри, як теплоізоляційні властивості суміші, товщина шлакової плівки, що утворюється на поверхні розплавленого металу, а також об’єм шлаку, що надходить у зазор.

Між кінетичними характеристиками плавлення та питомою витратою шлакоутворювальної суміші існує тісний взаємозв’язок, що впливає на ефективність технологічних процесів. Для дослідження цих характеристик застосовуються різноманітні методи, серед яких можна виділити такі:

1. Метод визначення часу плавлення зразка. Підготовлений зразок вагою 1-3 г, виготовлений у вигляді порошку або таблетки, поміщають у піч, нагріту до температури 1250-1500 °С. Стан зразка контролюється візуально з метою фіксації моменту завершення плавлення.

2. Метод лабораторних дослідів із використанням проби ШУС масою 150-500 г. Зразок, представлений у вигляді порошку або таблеток, поміщається безпосередньо на поверхню розплавленого металу в печі, нагрітій до температури 1500-1550 °С. Час повного переходу проби в рідкий стан фіксується за допомогою спеціальних вимірювальних пристроїв.

3. Метод визначення швидкості плавлення за допомогою графітового тигля. У дні тигля передбачено отвір, через який витікає утворений під час плавлення шлак. Тигель нагрівають індуктором до температури 1500-1550 °С, після чого пробу у вигляді порошку або таблеток розміщують на його дні. Поступово розплавлена суміш стікає через отвір, збираючись у ємності, розташованій унизу. Тривалість досліду обмежують певним часовим інтервалом (наприклад, 100 секунд).

Швидкість плавлення ШУС розраховується за спеціальною формулою, яка враховує вагу проби та час її повного переходу в рідкий стан:

$$Q = M / A \cdot \tau \qquad (3.5)$$

де М - маса шлаку, що утворився, кг;

А - площа поверхні дна тигля, $м^2$;

τ – тривалість експерименту, год.

4. Метод дослідження кінетики плавлення ШУС у високотемпературному мікроскопі схожий на той, що описано в пункті 2. Основна різниця полягає в тому, що в ізотермічну зону печі поміщають дві таблетки зразків. Перша таблетка відповідає хімічному складу вихідної форми ШУС, а друга виготовлена з прожареної суміші, яка не містить вуглецю. Експеримент проводять у середовищі, що виключає окислення (аргон або азот). У процесі нагрівання відзначають температури, при яких починається плавлення зразків, що дозволяє робити висновки про кінетику плавлення ШУС.

$$T_{н.пл}' = T_{н.пл\,(с)} - T_{н.пл}, \qquad (3.6)$$

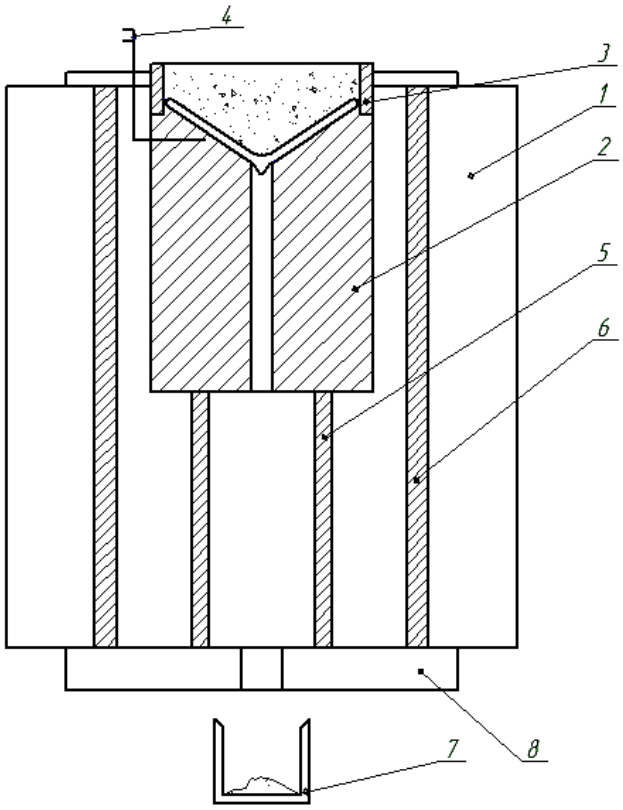
де $T_{н.пл}'$ – температурний інтервал підплавлення смеси, К;

$T_{н.пл\,(с)}$ - температура початку плавлення суміші, що містить вуглець, К;

$T_{н.пл}$ - температура початку плавлення суміші без вуглецю, К.

Усі описані методи, за винятком третього, є досить простими з технічної точки зору виконання експерименту. Проте точність результатів у першому та другому методах залишається низькою, а четвертий метод не враховує втрати шлаку в проміжку між кристалізатором і поверхнею заготовки. У третьому методі ці недоліки відсутні. Він дає змогу безпосередньо визначити швидкість плавлення, що дозволяє встановити залежність цього показника від інших параметрів технології безперервного розливання сталі.

Схема установки для дослідження за третім методом наведена на рисунку 3.8.



1 – піч Таммана; 2 – графітовий тигель; 3 – ізоляційне кільце; 4 – термопара; 5 – графітова підставка; 6 – графітовий нагрівач; 7 – алундова склянка; 8 – кришка

Рисунок 3.8 – Схема установки дослідження кінетики плавлення шлакоутворювальної суміші

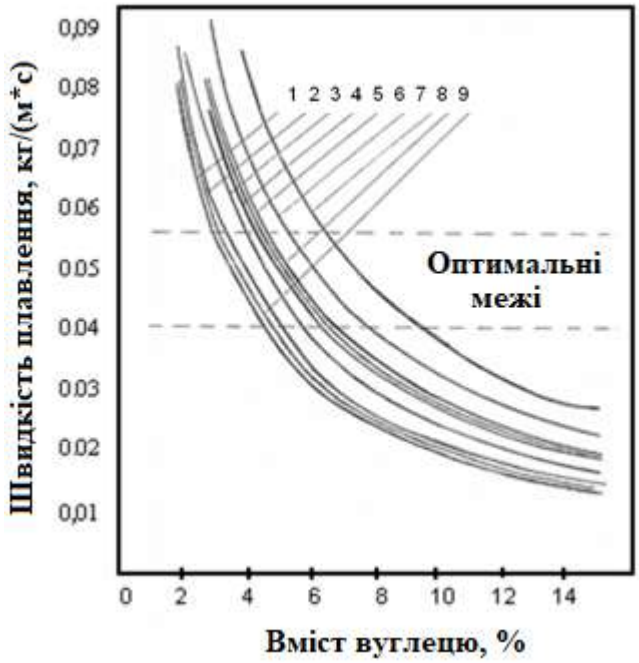
У печі Таммана 1 на підставці з графітової труби 5 розміщували масивний графітовий тигель 2. Поверх тигля встановлювали графітове ізоляційне кільце 3. Для моніторингу температури біля дна тигля використовували термопару (ВР-5/20).

Після монтажу установку нагрівали до температури в діапазоні 1500–1550°С. Підготовлену пробу порошку ШУС масою 30 г поміщали на дно тигля. Щоб уникнути просипання порошку до початку плавлення суміші, отвір тигля тимчасово закривали спеціальним графітовим стрижнем. У процесі плавлення краплі шлаку через канал у тиглі й отвір у кришці 8 стікали до алундового стакана 7. Через 90 хвилин експеримент завершували, а стакан із утвореним шлаком вилучали. Після охолодження шлак зважували, щоб визначити його масу.

Швидкість плавлення суміші розраховували за формулою 3.5. Площа конічної поверхні тигля, відповідно до рисунка 3.8, становила 3,39 × 10^{-3} м². Таким чином, формула для обчислення швидкості плавлення мала такий вигляд, кг/(м²·с):

$$Q = 3{,}276 \cdot m, \tag{3.7}$$

Для визначення швидкості плавлення для кожного із ШУС дослідного складу було проведено три експерименти. Результати дослідження кінетики плавлення ШУС наведені на рисунку 3.9, де показано залежність швидкості плавлення суміші Q (кг/(м²·с)) від вмісту вуглецю в різних ВВМ. Дані ілюструють, що швидкість плавлення суміші визначається видом та кількістю ВВМ.



1 – АУЗ-3; 2 – графітова руда; 3 – ДСР; 4 – ЕУЗ-М; 5 – ГСС; 6 – антрацитовий штиб; 7 – аморфний графіт; 8 – мінералізований вуглеграфіт; 9 – штучний графіт ІД

Рисунок 3.9 – Залежність швидкості плавлення шлакоутворювальних сумішей від концентрації вуглецю та виду вуглецевмісного матеріалу

Відмінність у реакційній здатності ВВМ зумовлена насамперед структурною упорядкованістю їхньої кристалічної решітки та гранулометричним складом, які

значно впливають на швидкість плавлення ШУС. Дослідження показали, що швидкості плавлення чотири- та п’ятикомпонентних сумішей за однакового вмісту ВВМ одного типу фактично не мають суттєвих відмінностей.

3.6 Вибір оптимальних складів нових шлакоутворювальних сумішей для дослідно-промислового випробування

Аналіз кривих на рисунку 3.9 свідчить про те, що швидкість плавлення ШУС має нелінійну залежність від вмісту вуглецю у ВВМ. При невеликому вмісті ВВМ швидкість плавлення значно більше залежить від концентрації вуглецю, ніж у випадку значного збільшення ВВМ у суміші.

Швидкість плавлення ШУС безпосередньо впливає на теплоізоляційні властивості суміші, товщину шлакового шару на поверхні металу в кристалізаторі, а також на об’єм шлаку, що потрапляє у міжщілинний простір.

Для визначення оптимального складу ШУС необхідно враховувати, що певна частина суміші не розплавляється і потрапляє в зазори, через що загальна питома витрата суміші перевищує кількість, яка спрямовується на утворення рідкого шлакового шару.

Отже, цю залежність можна представити так:

$$Q = K \cdot U \cdot \rho \cdot g, \tag{3.8}$$

де Q – швидкість плавлення суміші, кг/(м^2·с);

K - емпіричний коефіцієнт витрати, К = 0,4-0,5;

U – швидкість витягування заготівлі, м/с;

ρ - щільність рідкого металу, т/м^3;

g – питома витрата суміші, кг/т.

На основі досвіду експлуатації чотирьох- та п’ятикомпонентних ШУС з аморфним графітом на комбінатах «Азовсталь» та імені Ілліча встановлено, що при

швидкостях витягування 0,6–0,8 м/хв оптимальним є використання суміші у кількості 0,9–1,0 кг/т. При цьому, приймаючи густину матеріалу (ρ) рівною 7 т/м³, можна визначити діапазон оптимальних швидкостей плавлення ШУС:

$$Q = 0{,}040 \div 0{,}050 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}.$$

Цим Q значенням відповідають оптимальні інтервали зміни вмісту вуглецю (або ВВМ) в ШУС, наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Оптимальні склади шлакоутворювальних сумішей з різними вуглецьвмісними матеріалами

№ п/п	Вид вуглецевмісного матеріалу	Оптимальний вміст ВВМ, % мас.	Оптимальний вміст вуглецю, % мас.
1.	ЕУЗ-З	3,2÷4,9	3,0÷4,7
2.	Штучний графіт	3,1÷4,5	3,1÷4,6
3.	Руда графітова	3,8÷5,5	3,5÷5,1
4.	ДСР	4,3÷6,1	4,0÷5,7
5.	ЕУЗ-М	4,4÷6,4	4,4÷6,4
6.	Вуглеграфіт	7,5÷10,8	4,5÷6,5
7.	ГСС	5,2÷7,6	4,7÷6,8
8.	Антрацитовий штиб	7,7÷11,4	5,4÷8,0
9.	Аморфний графіт	8,8÷12,7	6,6÷9,5

ШУС із вмістом ВВМ, зазначені в таблиці 3.7, демонструють приблизно однакову швидкість плавлення. Однак найбільш придатними для використання є суміші з вищим вмістом ВВМ. Це пояснюється нелінійною залежністю швидкості плавлення ШУС від концентрації ВВМ. У діапазоні високого вмісту ВВМ зміни швидкості плавлення ШУС менш виражені навіть за наявності коливань у складі суміші.

Зважаючи на це, а також враховуючи економічну доцільність, для дослідно-промислових випробувань ШУС із новими вуглецевими матеріалами було обрано графіт марки ГСС, вуглеграфіт та антрацитовий штиб.

3.7 Дослідно-промислове випробування нових шлакоутворювальних сумішей

У конвертерному цеху металургійного комбінату імені Ілліча для безперервного розливання сталі застосовують чотирикомпонентну шихтову установчу суміш (ШУС), розроблену компанією «Екотехна». До її складу, як вуглецевмісний матеріал (ВВМ), входять антрацитове насіння або антрацитовий штиб.

Перехід від п’ятикомпонентної ШУС з добавлянням аморфного графіту до чотирикомпонентної з антрацитовим штибом був викликаний відсутністю на підприємстві відповідного обладнання для підготовки сумішей, необхідних для машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), а також труднощами з постачанням окремих складових, таких як аморфний графіт і нефеліновий концентрат.

З урахуванням цього, подальші експериментальні випробування нових вуглецевих матеріалів проводилися із використанням лише компонентів, що входять до складу чотирикомпонентної ШУС.

З метою визначення оптимального складу для промислових випробувань на замовлення металургійного комбінату імені Ілліча у цеху сипучих матеріалів МК «Азовсталь» було виготовлено експериментальну партію ШУС з відібраними вуглецевими складниками (таблиця 3.8). Як базова для порівняння використовувалася ШУС середнього складу, що застосовується у поточному виробництві, з антрацитовим штибом у якості вуглецевого компонента.

ШУС типу МУ включали 12-15% мінералізованого вуглеграфіту, а склад типу ГС містив 5,1% графіту марки ГСС виробництва Маріупольського графітового комбінату.

Таблиця 3.8 – Хімічний склад дослідних та порівняльних ШУС

Тип ШУС	Вид вуглецевмісного матеріалу	Хімічний склад, % мас.							
		CaO*	SiO_2	Al_2O_3	MnO	F	C	CaO/SiO_2	волога
Порівняльна	Антрацитовий штиб	30÷33	29÷31	2÷3	13÷16	3÷6	8÷10	1,0÷1,2	0,05
ГС – дослідна	Графіт ГСС	34,2	31,1	2,1	17,4	5,2	3,8	1,1	0,35
МУІ – дослідна	Мінералізований вуглеграфіт	30÷32	29÷31	2÷3	13÷15	6÷8	7÷8	1,0÷1,1	0,5
МУІІ - дослідна	Мінералізований вуглеграфіт	29÷32	30÷33	2÷3	12÷14	5÷6	9÷11	0,9÷1,1	0,5

*) з урахуванням Са, що входить до CaF_2.

Про особливості поведінки ШУС у кристалізаторі МБЛЗ визначали як візуально, так і за технічними параметрами процесу безперервного розливу сталі (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9 – Техніко-економічні показники безперервного розливання сталі у дослідному та порівняльному періодах

Тип ШУС	Кількість виготовленої ШУС, кг	Кількість відлитого металу, т	Зусилля витягування заготовки, тс	Швидкість витягування заготовки, м/хв.	Питома витрата ШУС, кг/т сталі	Товщина шлаку на меніску, мм
Порівняльна	–	–	2÷4	0,6÷0,8	1,15	5÷15
ГС	980	1000	2÷4	0,6÷0,8	не встанов.	20÷40
МУІ	4900	6350,83	2÷4	0,6÷0,8	0,77	10÷20
МУІІ	2940	3898,54	2÷4	0,6÷0,8	0,75	5÷25

Швидкість витягування литої заготовки залишалася на рівні базових показників і становила 0,6–0,8 м/хв. Під час випробувань дослідних ШУС зусилля витягування заготовки було на рівні 24 тонн, що співставно з процесом безперервного розливання сталі за умов порівняльної ШУС.

Хімічний склад сталі в кристалізаторі МБЛЗ для дослідної та порівняльної ШУС був однаковим (див. таблицю 3.10).

Таблиця 3.10 – Хімічний склад сталі у кристалізаторі МБЛЗ

Тип ШУС	Вміст хімічних елементів сталі, % мас.					
	C	Mn	Si	S	P	Al
Сталь-ківш	0,16	0,50	0,21	0,025	0,026	0,012
дослідна ШУС	0,19	0,52	0,22	0,025	0,030	0,006
порівняльна ШУС	0,18	0,51	0,21	0,024	0,028	0,006

ШУС типу ГСС було протестовано при розливанні 7 плавок (1000 тонн) сталі марки 3сп. Під час спостережень за її роботою в кристалізаторі МБЛЗ була відзначена недостатня ефективність теплоізоляції рідкого металу через низьку рухливість нерозплавленого порошку на поверхні шлаку. Збільшення дозування ШУС призводило до накопичення шлакових відкладень на меніску металу, товщина яких сягала 40 мм. Ці проблеми стали причиною припинення подальших випробувань ШУС із використанням графіту марки ГСС.

Дослідні роботи з ШУС типу МУІ проводилися на 45 плавках (6350 тонн) сталі 3сп. У процесі використання зазначеної суміші було помічено, що вона забезпечувала належну рухливість на поверхні металу та рівномірний розподіл на його дзеркалі. Питома витрата ШУС становила 0,77 кг/т сталі. Проте висока швидкість шлакоутворення призвела до утворення шлакового шару завтовшки 10–20 мм.

Додатково випробовувався варіант ШУС з підвищеним вмістом вуглецю (9–11 %) під маркою МУІІ. Результати засвідчили покращену роботу суміші: товщина шлакового шару в кристалізаторі становила 5–15 мм, а питома витрата зменшилася до 0,75 кг/т сталі.

Під час розливання двох плавок сталі 3сп (дослідної та порівняльної) були відібрані зразки суміші МУІ, шлаків з поверхні металу у кристалізаторі, а також

відповідні контрольні проби для порівняння. Хімічний склад цих зразків наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Хімічний склад шлакоутворювальних сумішей та їх шлаків

Тип суміші та шлаку	Хімічний склад, % мас.											
	SiO_2	CaO	MnO	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	FeO	C	F	S	H_2O	R_2O
Порівняльна 4-х компонентна з антрацитовим штибом	29,20	32,55	16,16	2,80	2,47	0,21	1,13	8,54	3,82	0,43	0,45	н.д.
Шлак порівняльної суміші	36,04	33,48	10,8	6,07	2,99	0,21	1,64	1,01	4,45	0,17	0,84	н.д.
Дослідна суміш МУІ	33,30	31,27	15,68	2,60	2,90	0,48	1,19	6,98	4,20	0,52	н.д.	1,5
Шлак дослідної суміші	38,50	33,67	8,74	8,70	3,90	0,08	1,06	0,30	3,90	0,15	н.д.	1,6

Примітка: н.д. – немає даних.

З аналізу таблиці видно, що вміст вуглецю в шлаку знижується до 0,3% маси порівняно з його кількістю у вихідних сумішах. Рідка плівка шлаку має достатню товщину, щоб ефективно захищати метал від взаємодії з вуглецем.

Дані з таблиці 3.11 вказують на те, що дослідна суміш має вищу здатність асимілювати Al_2O_3 у порівнянні з контрольним зразком за однакових змін у вмісті MnO як у суміші, так і в шлаку. Це, ймовірно, зумовлено присутністю у дослідній ШУС 5-10% SiC, який, розкладаючись із виділенням CO, покращує рухливість шлакового шару. У результаті це сприяє більш інтенсивному перемішуванню шлаку і, відповідно, кращому поглинанню Al_2O_3.

Таким чином, випробування експериментальних сумішей показали, що ШУС із мінералізованим вуглеграфітом має вищі експлуатаційні характеристики порівняно із сумішшю, що містить графіт марки ГСС.

Технічні показники процесу безперервного розливання сталі із використанням ШУС типу МУ знаходяться на рівні контрольних зразків. При цьому питома витрата ШУС зменшилася на 0,38-0,4 кг/т сталі і становила 0,75-0,77 кг/т сталі.

3.8 Дослідження якості дослідного металу

Властивості шлакової ущільнюючої суміші (ШУС) для захисту металу в кристалізаторі машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) мають значний вплив на якість поверхні виготовленої продукції. З огляду на це було проведено аналіз відсортування прокатаного металу та поверхонь макротемплетів ("окраєць"), відібраних зі слябів експериментальних плавок.

Результати відсортування прокатаного металу, отриманого зі слябів, відлитих із використанням дослідних і порівняльних ШУС, наведено в таблиці 3.12. Застосування дослідних ШУС забезпечило підвищення виходу придатної продукції на 4%, зниження загального рівня відсортування прокату на 45%, зменшення обсягу зачистки поверхні на 0,5%. Крім того, відсутність листів із газовими бульбашками та тріщинами, а також позитивні результати ультразвукового контролю засвідчили відсутність внутрішніх дефектів.

Таблиця 3.12 – Відсортування катаного металу, отриманого зі слябів, відлитих із застосуванням дослідних та порівняльних шлакоутворювальних сумішей

Тип ШУС		Марка сталі	Відлито, т	Прокатано, т	Вихід придатного, т/%	Відсортовано, т/%	Зачищення плєн, т/%	Плєна, т/%	Тріщини, т/%	УЗК, т/%	Газові бульбашки т/%
Порівняльна	АШ	Зсп	68438,76	57032,3	52795,4 92,57	4235,9 7,43	671 1,18	34,54 0,06	1,98 0,003	2,9 0,01	13,83 0,02
	ГС	Зсп		46286,73	42165,6 91,1	4221,15 8,9	1274,2 2,75	37,95 0,08	-	10,57 0,02	25,82 0,06
Дослідна	МУІ	Зсп	6350,8	5292,4	5143,3 97,2	149,1 2,8	50,45 0,95	2,17 0,04	-	-	-
	МУІІ	Зсп	3131,45	2609,5	2509,1 96,2	100,44 3,8	42,79 1,64	1,01 0,04	-	-	-

На поверхні «окраїв», відокремлених від слябів, виготовлених із використанням експериментальної ШУС, були виявлені такі типи дефектів: складчастості, поздовжні тріщини, поперечні тріщини, бульбашки та сітчасті тріщини.

Проведений аналіз показав, що сітчасті тріщини на поверхні безперервнолитого сляба марки Ст3сп мають незначний ступінь розвитку, а на слябі марки Ст0сп вони повністю відсутні. Поздовжні й поперечні тріщини характеризуються невеликою глибиною — до 1 мм, при цьому їх протяжність коливається від 5 до 30 мм. Загальна максимальна довжина зазначених дефектів становить приблизно 125 мм.

Таким чином, сортування прокату та дослідження поверхневих характеристик «окраїв» підтверджують, що якість металу, виготовленого із застосуванням експериментальної ШУС, відповідає базовому рівню.

3.9 Вихідні вимоги до промислового впровадження нової ШУС

Лабораторні дослідження, дослідно-промислові випробування та аналіз якості металу вказують на те, що найбільш ефективним замінником кристалічного графіту у складі ШУС, які використовуються сьогодні при безперервному розливанні сталі, є мінералізований графіт.

На електродному заводі цей мінералізований вуглеграфіт отримують як побічний продукт у процесі виробництва електродів. Оскільки виділення мінералізованого вуглеграфіту здійснюється на конкретному етапі технологічного циклу, він має чітко встановлений хімічний склад та стабільні хіміко-фізичні властивості. Це робить його зручним і ефективним матеріалом для використання в промислових процесах сталеплавильного виробництва. Постачається він за технічними умовами і функціонує як теплоносій для металургії.

Під час дослідження п’ятикомпонентних ШУС було визначено, що оптимальним є наступний компонентний склад (у масових відсотках):

- портландцемент марки 400 (ГОСТ 10178-85) — 32,

- нефеліновий концентрат (МРТУ 6–12–01–86) — 20,

- шлакова брила — 12,

- плавиковий шпат (ГОСТ 7618-83) — 21,

- мінералізований вуглеграфіт — 15.

Хімічний склад ШУС повинен залишатися в таких межах, що забезпечують оптимальні властивості й ефективність їх використання в металургійному виробництві.

CaO	SiO_2	Al_2O_3	F	R_2O	C	H_2O	BF
30÷37	25÷36	5÷10	7÷10	5÷9	7÷12	<0,5	1,1÷1,4

Вимоги для промислового впровадження нової ШУС на 4-х компонентних засадах, % мас.:

шлак основний – 33÷40,

шлак кислий – 27÷38,

плавиковий шпат (ГОСТ 7618-83) - 14÷17,

мінералізований вуглеграфіт – 12÷15.

Хімічний склад ШУС повинен перебувати в наступних межах, % мас.

CaO	SiO_2	Al_2O_3	MnO	F	C	H_2O	BF
29÷32	30÷33	2÷3	12÷14	8÷9	9÷11	<0,5	1,1÷1,3

На основі викладеного можна зробити такі висновки:

1. Проведено аналіз функцій, конструктивних особливостей та властивостей вуглецевмісних матеріалів, які входять до складу шлакоутворювальних сумішей (ШУС), що використовуються при безперервному розливанні сталі.

2. Для досліджень розглянуто дев'ять видів вуглецевмісних матеріалів (ВВМ), які потенційно можуть бути складовими ШУС для безперервного розливання.

3. На основі аналізу фракційного і хімічного складу обраних ВВМ сформовано рецептуру експериментальних ШУС, базованих на чотирикомпонентних і п'ятикомпонентних сумішах, які нині виготовляються у відділі підготовки сумішей.

4. Визначено основні методики дослідження експлуатаційних характеристик ШУС із різним складом. Зокрема, проаналізовано температуру початку й кінця плавлення, в'язкість шлаків у рідкому стані, а також швидкість плавлення ШУС на металевій поверхні кристалізатора.

5. У результаті аналізу встановлено, що заміна аморфного графіту на обрані ВВМ у складі ШУС практично не впливає на їхні температурні характеристики плавлення. Збільшення вмісту вуглецю в складі ШУС із 3 до 11 % знижує температури початку та кінця плавлення на 10-30 °С.

6. Температура початку плавлення чотирикомпонентних ШУС становить 1160–1200 °С, а кінця плавлення — 1195–1200 °С. Для п'ятикомпонентних сумішей температура початку плавлення перебуває в межах 1070–1100 °С, а кінця плавлення — 1095–1130 °С.

7. Суттєвого впливу типу ВВМ на в'язкість шлаків у межах температур 1300–1500 °С не зафіксовано. Проте збільшення вмісту графіту у складі ШУС призводило до деякого зростання в'язкості розплавів. Так, у дослідженому температурному діапазоні в'язкість розплавів чотирикомпонентних ШУС виявилася на 30–70 % вищою за в'язкість п'ятикомпонентних сумішей, ймовірно, через їхню більшу температуру плавлення.

8. В'язкі характеристики та температурні показники експериментальних ШУС є близькими до відповідних властивостей базових сумішей.

9. Швидкість плавлення чотирикомпонентних і п'ятикомпонентних ШУС за однакового вмісту ВВМ одного виду суттєво не відрізняється. Простежено залежність швидкості плавлення ШУС від вмісту вуглецю у складі різних ВВМ. Швидкість плавлення базових ШУС із використанням аморфного графіту становить 0,037–0,055 кг/(см²·с), що забезпечує їхню питому витрату в межах 0,9–1,0 кг/т сталі, що є близьким до оптимального рівня.

10. Аналіз результатів дослідження швидкості плавлення ШУС, окисної здатності різних ВВМ, а також умов їх постачання (вартість і транспортування) дозволяє рекомендувати для експериментального випробування в ШУС графіт ГСС та мінералізований вуглеграфіт.

11. Цехові випробування показали, що чотирикомпонентні ШУС з вмістом мінералізованого вуглеграфіту в кількості 12–15% мас. демонструють експлуатаційні характеристики, подібні до властивостей ШУС на основі аморфного графіту. Питома витрата дослідної ШУС складає 0,75–0,77 кг на тонну рідкої сталі.

12. Якість поверхні литих слябів, отриманих із застосуванням дослідних і контрольних ШУС, є однаковою. При цьому вихід придатного матеріалу збільшився на 45%.

13. Для промислового використання рекомендується шлакова суміш зі складу, масова частка якої становить: основний шлак – 33%, кислий шлак – 38%, плавиковий шпат – 14%, мінералізований вуглеграфіт – 15%. При діючих обсягах розливу сталі на МБЛЗ комбінату загальна потреба в мінералізованому вуглеграфіті складає 100–125 тонн на рік.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних та небезпечних шкідливих факторів конвертерного цеху

Під час проведення киснево-конвертерного процесу виникають різноманітні шкідливі виробничі чинники, які є небезпечними для здоров'я працівників. Основними серед них є теплове випромінювання від технологічного обладнання, розплавленого металу та шлаку. Крім того, в процесі продування конвертера, роботи газових пальників у котлах-утилізаторах, а також сушіння футеровки відремонтованих конвертерів і сталерозливних ковшів виділяється значна кількість газів.

До інших виробничих ризиків належить утворення пилу, який виникає під час транспортування сипких матеріалів, продування конвертера, зливання чавуну із ковша у конвертер, випуску сталі та шлаку. Шум вентиляційного обладнання в робочих приміщеннях також негативно впливає на самопочуття працівників. Вібрація від важкого промислового обладнання створює додаткове навантаження на організм, а ризик ураження електричним струмом становить серйозну фізичну небезпеку.

Зазначені фактори формують виробниче середовище, яке може мати негативний вплив на здоров'я та працездатність людей.

4.1.1 Теплові виділення

Джерелами теплових випромінювань у виробничому середовищі киснево-конвертерних цехів є кожух і розжарена горловина конвертера, гази, що виходять під час технологічного процесу, а також розплавлений чавун, рідка сталь і шлак. У конвертерному прольоті значна кількість тепла та нагрітих газів виділяється від рідкого металу, який подається в конвертер. Інтенсивність випромінювання в цих зонах коливається в межах від 350 до 10 500 Вт/м². Особливому тепловому впливу

піддаються працівники, зокрема оператори кранів і конвертерники, під час таких операцій, як взяття проб матеріалів, вимірювання температури, огляд або ремонт горловини печі. Навіть на відстані 2–3 метри від джерел тепловипромінювання температура повітря залишається дуже високою, досягаючи 45–50 °С.

У сучасних киснево-конвертерних цехах концентрація газів у повітрі залишається невеликою або майже відсутньою завдяки ефективним системам вентиляції. Проте променистa енергія, поглинаючись тілом людини, впливає в першу чергу на незахищені ділянки шкіри — обличчя, руки та шию. У той час як конвекційне тепло чинить вплив переважно на зовнішні шари шкіри, променисте тепло може проникати глибше у тканини.

Відчуття тепла виникає вже за інтенсивності опромінення 0,08 Вт/м² (при довжині хвилі 2,9 мкм) або 1,7 Вт/м² (при довжині хвилі 1,3 мкм). Варто зазначити, що при інтенсивності опромінення 5,4 Вт/м² і довжині хвилі 1,3 мкм може виникати навіть приємне теплове відчуття.

Однак надмірний перегрів організму здатен призводити до серйозних наслідків: головного болю, шуму у вухах, порушень кольорового сприйняття, нудоти, блювоти та підвищення температури тіла.

4.1.2 Виробничий пил

Пил, який утворюється в конвертерному прольоті під час завантаження шихтових матеріалів у конвертер, має щільність 4,3 г/см³. Його кількість та хімічний склад значно варіюються залежно від багатьох чинників, таких як склад чавуну та домішок, об’єм печі, висота фурми над рівнем металу, а також витрати й тиск кисню. У середньому концентрація пилу в конверторних газах становить 25–30 кг на тонну металу.

Дослідження ступеня дисперсності пилових частинок свідчать, що приблизно 80% з них мають розміри до 5 мкм. Частинки, більші за 1 мкм, складають лише 5–15%. Такий дисперсний пил легко переноситься повітряними потоками на значні відстані, залишаючись у суспензії надовго й практично не осідаючи.

Пил активно виділяється під час перевантаження шихтових матеріалів, укладання конвертерів і сталерозливних ковшів, а також при руйнуванні футеровки або її ремонті. У міксерних відділеннях утворення пилу та газів відбувається в процесі заповнення міксерів та розливу чавуну.

Пил проникає в організм працівників через дихальні шляхи. Його шкідлива дія обумовлена дисперсністю, формою та твердістю частинок. Зокрема, пилові частинки розміром від 0,1 до 5 мкм не виводяться з організму і накопичуються в легенях. Токсичний вплив виробничого пилу полягає у його здатності провокувати професійні захворювання дихальної системи, особливо пневмоконіози.

4.1.3 Виробничий шум

Джерелами шуму в конвертерному прольоті є працюючий конвертер, мостові та грейферні крани, а також сопла фурми, через які кисень виходить зі швидкістю звуку.

З позиції фізіології шум визначається як відчуття, що сприймається слуховими органами при впливі на них звукових хвиль у частотному діапазоні від 16 до 20 000 Гц. Найважливіший для слухового сприйняття інтервал становить від 45 до 10 000 Гц. Максимальний рівень звукового тиску, який можуть переносити органи слуху, дорівнює 130 дБ. Перевищення цього показника спричиняє больові відчуття.

Шум у конвертерному прольоті генерується через роботу різноманітного обладнання, конвертерів, агрегатів і систем вентиляції, що створює виробничий шум. Нормативний рівень шуму для оператора поста управління не має перевищувати 80 дБА, тоді як фактичне значення часто сягає 97 дБА, суттєво перевищуючи допустиму межу.

Робота в умовах шуму є значно складнішою, ніж у відносній тиші. Шум впливає на зорову чутливість, утруднює концентрацію уваги, ускладнює виконання точних завдань і перешкоджає ефективному спілкуванню. Регулярний вплив надмірного шуму може спричиняти професійні захворювання, зокрема приглухуватість, яка характеризується поступовою втратою слуху обома вухами.

Спершу це стосується високих частот, але з часом проблема поширюється на низькочастотний діапазон, що впливає на здатність розпізнавати мовлення.

Окрім прямого впливу на орган слуху, шум негативно позначається на різних відділах мозку, порушуючи нормальні процеси вищої нервової діяльності. Часто спостерігаються скарги на підвищену втому, загальну слабкість, дратівливість, апатію та погіршення пам’яті.

Негативний вплив шуму на працівників тягне за собою зниження продуктивності праці, збільшення кількості шлюбу в роботі, а також створює передумови для нещасних випадків.

4.1.4 Загазованість

Гази, що утворюються в процесі конденсації аерозолів із твердою дисперсною фазою, є одним із основних джерел забруднення повітря виробничих ділянок, особливо в роботі конвертера. Їхнє виділення найактивніше спостерігається у випадках порушення газодинамічних параметрів процесу, що супроводжується вибиванням полум’я. Крім того, газові викиди відбуваються під час випуску сталі, її позапічної обробки або роботи установки "піч-ківш". Додатково гази можуть виділятися внаслідок пошкодження газових комунікацій.

Згідно з даними карти умов праці, повітря в конвертерному прольоті насичене такими шкідливими речовинами, як оксид вуглецю, діоксид азоту, сірчистий ангідрид та хромовий ангідрид. Концентрація цих газів в повітрі часто перевищує гранично допустимі значення у кілька разів, що створює небезпеку для здоров’я працівників.

Найбільшу загрозу становить оксид вуглецю — продукт неповного згоряння палива. Він утворюється унаслідок фізико-хімічних реакцій, зокрема під час плавлення та випуску металу з печі. До його появи призводять такі процеси, як окислення струменя металу під час наповнення виливниць, використання спеціальних окислювальних добавок, що пришвидшують кипіння металу, або вивільнення вуглецю.

Одночасно із цим повітря робочої зони забруднюється сірчистим ангідридом та діоксидом азоту. Ці гази також утворюються під час роботи конвертера і є небезпечними для здоров’я. Як і пил, вони потрапляють в організм працівників через органи дихання. Залежно від своїх фізіологічних властивостей, кожен із цих газів негативно впливає на стан людського організму.

Сірчистий ангідрид викликає подразнення тканин дихального тракту та слизових оболонок. У свою чергу, діоксид азоту знижує концентрацію кисню у робочій зоні. Для нормального функціонування організму рівень кисню має становити не менше 19%, тоді як діоксид азоту сприяє його значному розбавленню. Оксид вуглецю є найбільш небезпечним через свої хімічні властивості: він зв’язується з гемоглобіном крові, значно зменшуючи доставку кисню до тканин організму.

4.1.5 Вібрація

Струс конструкцій, машин і споруд, що виникає внаслідок неврівноваженого впливу сил, називається вібрацією.

Вібрації характеризуються частотою коливань, яку вимірюють у герцах: 1 Гц відповідає одному коливанню за секунду. Людське вухо сприймає звукові коливання в діапазоні від 16 до 20 000 Гц. Коливання з частотою нижче 16 Гц називаються інфразвуком, а ті, що перевищують 20 000 Гц, – ультразвуком. Найчутливішим людський слух є до звуків середньої та високої частоти у діапазоні 500–2000 Гц. Вібрація виникає у різноманітних технічних пристроях через недоліки їхньої конструкції, неправильну експлуатацію або вплив зовнішніх чинників, наприклад, нерівності поверхні, на якій встановлено обладнання. Також можливе її цілеспрямоване генерування. Посилення вібрації часто обумовлене явищем резонансу.

У конвертерному прольоті допустимий рівень вібрацій становить від 40 до 70 Гц.

Вплив вібрації на людину проявляється по-різному. Це залежить від того, чи зачіпає вона весь організм або окремі його частини, а також від частоти, інтенсивності та тривалості впливу. Наслідки можуть варіюватися від відчуття струсу (паллестезії) до змін у роботі нервової системи, серцево-судинної або опорно-рухової системи.

4.1.6 Електричний струм

У разі пошкодження ізоляції електроустаткування напруга може несподівано з'явитися на металевих частинах обладнання (корпус, кожух, станина, броня кабелю тощо), які зазвичай не перебувають під напругою. У разі контакту таких елементів з металевими конструкціями виникає ризик ураження електричним струмом.

Нещасні випадки також можуть траплятися через випадковий дотик працівника до струмопровідних частин, які перебувають під напругою, таких як проводи, шини, рубильники чи запобіжники. Вплив електричного струму часто спричиняє електротравми, серед яких найбільш поширеними є електричні удари та опіки. Електричний удар може відбутися під час контакту зі струмопровідними частинами обладнання, тоді як опіки виникають під впливом електричної дуги, що виникає під час комутаційних процесів в електричних колах.

Серйозність електротравм визначається низкою чинників, серед яких важливу роль відіграють умови довкілля та фізичні характеристики організму людини. До факторів середовища можна віднести характер включення тіла у електричний ланцюг, силу струму, напругу та тривалість його дії. Значну роль відіграють температура й вологість середовища: висока вологість і температура збільшують ризик травмування. Також стан організму людини — втома, хвороба або алкогольне сп'яніння — може суттєво посилити наслідки ураження струмом.

Змінний струм із частотою 50 Гц і силою 25–50 мА може викликати порушення дихання, звуження кровоносних судин, підвищення артеріального тиску та ускладнення роботи серця. Тривала дія струму напругою 110, 220 або 380 В

призводить до послаблення функціонування серця та навіть може спричинити втрату свідомості.

Таблиця 4.1 - Карта умов праці на робочому місці

Фактори виробничого середовища та праці	Нормат. значення ГДК, ПДК	Фактич. Значення	III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Час дії фактора, %
1. Шкідливі хім. речовини, г/м^3						
I клас Ангідрид хромовий Оксид Мп (аер.конд)	 0,01 0,05	 0,012 0,18	 1,2	 3,8	 	 84,1 84,1
III-IV класи Азот діоксид Ангідрид сірчистий Оксид вуглецю	 2,0 10,0 20,0	 3,8 18,2 25,2	 	 4,7	 	 84,1
2.Пил переважно фіброгенної дії. Вміст діоксиду Si 3,16%	4	134,1			33,7	84,1
3.Вібрація	1,6-80гц	40-70гц		2,8		74,6
4.Шум, дБА	80	96			17	100
5.Мікроклімат у приміщенні: t^{0}C повітря; швидк. рух. повітря; відн. волог. пов.; інфрачервоні. випромінювання.	 15-26 0,2-0,6 35 140	 40,4 0,26 41 5275	 	 	 5270	 84,1
6.Статичне навантаження. Величина навантаження за зміну за участю м'язів тулуба та ніг	130000	252957	252956			
7. Робоча поза Нахили корпусу, переміщення у просторі	101	Вимуш. нахили св.300 223	Вин. накл. 223			
8.Напруженість організатор. Функцій . Зір		Сліпий. дія розплавл. Ме і шлаку				

Висновок: З карти умов праці на робочому місці видно, що концентрація речовин не перевищує встановлених допустимих норм.

Токи високої частоти менш небезпечні з точки зору електричного удару, проте вони можуть спричинити перегрівання тканин людського організму та негативно впливати через створення електромагнітного поля.

Тривалість впливу струму також відіграє ключову роль у тяжкості ураження. Із підвищенням тривалості дії зменшується електричний опір тіла через прогрівання та пробивання рогового шару шкіри. Особливо небезпечним є проходження струму через серце в момент його розслаблення (фаза діастоли, яка триває близько 0,1 секунди після скорочення).

Для захисту від ураження електричним струмом застосовуються такі заходи:

1. Захист від контакту зі струмонесучими частинами. Реалізується використанням спеціальної ізоляції, монтажем елементів обладнання поза досяжністю, установкою на висоті або застосуванням зниженої напруги.

2. Запобігання контакту з елементами обладнання, які випадково опинилися під напругою. Найбільш ефективний і простий спосіб забезпечення цього захисту — це застосування захисного заземлення.

3. Захист від надмірних струмів (короткого замикання).

Дотримання таких заходів значно знижує ризик отримання травм під час роботи з електроустаткуванням та сприяє забезпеченню безпечних умов праці.

4.2 Технічні рішення щодо виробничої санітарії

4.2.1 Об'ємно-планувальні рішення будівель та споруд конвертерного цеху

Конвертерні цехи розташовуються в закритих будівлях і включають міксерне відділення, відділення підготовки шихти, завантажувальний, конвертерний та розливний прольоти, а також ділянки для підготовки виливниць і ремонту ковшів. Відділення переливу чавуну, а також зони підготовки виливниць і ремонту ковшів знаходяться в окремій будівлі, розміщеній неподалік від основного цеху.

Будівля цеху з трьома конвертерами ємністю 160 тонн складається з шести основних прольотів (за винятком відділення підготовки шихти): двох розливних прольотів, зон підготовки ковшів, завантажувального, конвертерного і енергетичного прольотів. Усі ці прольоти з'єднуються між собою за допомогою

поперечних залізничних колій, прокладених під конвертерами. Ці колії використовуються для транспортування сталі та шлаку.

Будівля конвертерного цеху виготовляється зі збірних конструкцій, із застосуванням збірних залізобетонних панелей для стін. Для забезпечення безпеки обслуговування та зменшення рівня радіаційного опромінення конвертери, ємність яких становить 160 тонн, розташовуються на відстані 20 м один від одного.

4.2.2 Вентиляція та опалення

Вентиляція. У виробничих приміщеннях, де виникає значний надлишок тепла та шкідливих забруднень, необхідно забезпечити інтенсивний повітрообмін для їх ефективного видалення з робочої зони. Це завдання виконується за допомогою систем вентиляції.

Вентиляція, яка знижує рівень шкідливих виділень у повітрі, не лише сприяє створенню безпечних (зокрема, стосовно вибухонебезпечності) та здорових умов праці, але й позитивно впливає на довговічність металевих конструкцій будівель, збереження внутрішнього оздоблення приміщень (наприклад, у травильних цехах). Крім того, вона сприяє створенню комфортніших умов експлуатації приміщень.

Опалення. У конвертерному прольоті передбачено використання повітряного опалення, де нагрівання повітря здійснюється за допомогою калориферів. У таких системах теплоносієм зазвичай слугують гаряча вода або пара. Однак у специфічних випадках для нагрівання повітря дозволяється застосовувати природний газ (у будівлях I та II ступеня вогнестійкості з виробничими категоріями Г і Д за умови, що продукти згоряння виводяться безпосередньо назовні) або електроенергію за допомогою електрокалориферів.

Крім того, застосовуються центральні системи повітряного опалення, які зазвичай поєднуються з припливною вентиляцією, а також місцеві системи. У випадку місцевих систем нагрівання й подача теплого повітря до конкретних зон приміщення здійснюються за допомогою спеціальних опалювальних агрегатів.

4.2.3 Виробниче освітлення

У конвертерному цеху природне освітлення в приміщенні забезпечується за рахунок проникнення сонячного світла крізь світлові отвори і поділяється на бічне, верхнє та комбіноване (поєднана дія верхнього та бічного). Бічне освітлення здійснюється через отвори у стінах, верхнє – через отвори в аераційних ліхтарях, а комбіноване передбачає використання обох типів отворів одночасно.

Штучне освітлення буває загальним і комбінованим. Загальне за характером може бути рівномірним або локалізованим. У випадку рівномірного освітлення світловий потік рівномірно розподілений незалежно від розташування обладнання. Локалізоване освітлення спрямоване на конкретні робочі зони залежно від їхнього розташування.

Для освітлення приміщень використовуються газорозрядні лампи низького та високого тиску, зокрема люмінесцентні, металогалогенні та натрієві лампи. При використанні газорозрядних ламп можливе виникнення пульсації освітленості. В такому разі допускаються такі максимальні значення коефіцієнтів пульсації: для загального освітлення зорових робіт I та II розряду – до 10%, III розряду – до 15%, IV–VIII розрядів – до 20%; для комбінованого освітлення загального призначення – 20%, а місцевого – відповідно 10%, 15% і 20% для зорових робіт I, II, III; IV–VIII розрядів.

Основне призначення світильників полягає у напрямленому перерозподілі світлового потоку відповідно до потреб освітлювальних завдань, а також у захисті джерел світла, оптичних елементів та електричних компонентів від шкідливого впливу навколишнього середовища. Світильники вибираються з урахуванням специфіки приміщення, умов експлуатації та висоти їх встановлення.

Робоче та аварійне електроосвітлення працює під напругою 380/220 В, ремонтне – під напругою 36 В або 12 В. Групові мережі освітлення у виробничих зонах, де можливе підвищене теплове навантаження, монтуватимуться із застосуванням теплостійких проводів. У вбудованих приміщеннях проводка буде прокладена приховано в пустотах плит або під шаром штукатурки.

Освітлення автомобільних шляхів і пішохідних тротуарів виконуватиметься за допомогою світильників із натрієвими лампами типу ДНаТ. Ці світильники встановлюватимуться на залізобетонних опорах або на кронштейнах, закріплених до стін будівель та споруд.

Для освітлення залізничних станцій, колій та відкритих територій планується використання прожекторів із ксеноновими та галогенними лампами розжарювання, які будуть розташовані на щоглах або дахах будівель і споруд.

Пункт управління зовнішнім електроосвітленням має знаходитися в приміщенні, де у вечірній та нічний час перебуває черговий персонал, здатний керувати увімкненням і вимкненням освітлення.

Розподільчу мережу для зовнішнього освітлення передбачається виконувати із застосуванням кабелів, які прокладатимуться в траншеях, уздовж стін будівель чи за допомогою тросів.

4.2.4 Виробничий шум

Шум є невід’ємною складовою більшості галузей сучасного виробництва, зокрема машинобудування, металургії, гірничодобувної, легкої і важкої промисловості, будівництва, транспорту та сільського господарства. Джерелом виробничого шуму виступають механічні коливання різних середовищ: газоподібного (шум), рідкого та твердого (вібрація). З точки зору гігієни, шум вважається сукупністю небажаних звуків або механічних коливань, які впливають на тіло людини, спричиняючи дискомфорт, зниження працездатності, а в окремих випадках — шкоду здоров’ю.

Найбільш суттєво шум впливає на органи слуху, призводячи до порушень різної тяжкості — від незначного погіршення слуху до повної втрати його. Зниження слуху розвивається поступово, залежно від інтенсивності шуму, тривалості робочого стажу та індивідуальної чутливості організму до шумового впливу. Основними ознаками професійної приглухуватості є значне погіршення слуху щодо сприйняття шепітної та розмовної мови, яке наростає разом зі

збільшенням стажу роботи. Особливо шкідливими вважаються високочастотні шуми (понад 1000 Гц) з рівнем гучності понад 90 дБ. За умов, коли працівник перебуває в таких умовах понад 10 років, ризик порушення слуху сягає понад 10%.

Для зменшення рівня шуму вентиляторних систем у приміщеннях передбачено ряд заходів. Так, технологічне обладнання ізолюється у спеціальні укриття, що дозволяє знизити шум поблизу нього до допустимого рівня. У цехах зазвичай застосовується механічна вентиляція, яка забезпечує переміщення повітря за допомогою вентиляторів.

Природний повітрообмін у цехах відбувається під впливом різниці температур (створює тепловий тиск) та дії вітру (вітровий тиск). Такий процес отримав назву аерації.

4.3 Заходи щодо безпеки праці

За умовами праці конвертерний цех є одним із найскладніших виробничих підрозділів. Для своєчасного інформування про порушення технологічного процесу передбачено систему сигналізації з блокуванням, яка активується у разі виникнення аварійних ситуацій:

- Критичне зниження тиску кисню або води, що охолоджує фурму.
- Підвищення перепаду температури води для охолодження фурми.
- Виникнення несправностей димососів та інших подібних відхилень.

У будь-якій з перелічених ситуацій спрацьовує сигнальна лампа, вмикається звукова сигналізація, автоматично запускається механізм підйому фурми, а подача кисню припиняється.

Отвори робочих майданчиків навколо конвертера, а також приводи повороту обладнані спеціальними огородженнями задля безпеки. З боку повалки конвертера встановлено захисний екран, що складається з металевого каркаса з односторонньою обшивкою. Він забезпечує захист персоналу від виплесків металу та шлаку з горловини, а також від інтенсивного теплового випромінювання під час взяття проб та вимірювання температури.

Усі електроустановки заземлені або занулені відповідно до стандартів ПУЕ 2001. Перевірка опору заземлення та стану зовнішніх частин заземлювальної або занулюючої проводки проводиться щороку в періоди найменшої провідності ґрунту: один раз улітку за умов максимального просихання, інший раз узимку.

Для зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу навколо конвертера під час повалки і зливу металу встановлено захисний кожух, який під'єднується до системи очищення конвертерних газів.

З метою захисту працівників від шумових впливів усі вбудовані приміщення цеху мають звукоізоляцію. Для цього стіни та стелі покриті звукопоглинаючими матеріалами, а вікна оснащені подвійним заскленням із пружними прокладками по контуру. Допустимий рівень шуму не перевищує 80 дБА.

Щоб унеможливити потрапляння людей до небезпечних зон або під рухоме обладнання, у цеху передбачено безпечні маршрути для пересування працівників.

4.3.1 Заходи щодо виробничої санітарії

Конвертерні цехи відносяться до гарячих виробництв металургійної промисловості, що характеризуються складними умовами праці та наявністю шкідливих викидів. У літній період температура повітря в безпосередній близькості до агрегатів (1-1,5 м) зазвичай перевищує зовнішню на 10-15°С. Будівля конвертерного цеху спроєктована з урахуванням максимально сприятливих умов для природного освітлення та вентиляції. Поздовжня вісь ліхтаря орієнтована під кутом 60-90° до напрямку панівного вітру. Система отворів у стінах та дахових ліхтарях дозволяє їх відкривати або закривати залежно від змін температури зовнішнього середовища, а також швидкості та напрямку вітру.

Для аспірації тракту подачі сипучих матеріалів використовується механічна вентиляція. У зоні поста керування конвертерами передбачена вентиляційна система, виконана на базі двох центральних камер з адіабатичним охолодженням.

Щодо освітлення виробничих приміщень, оптимальним рішенням є застосування комбінованої системи. Регулювання рівня освітленості може

здійснюватися автоматично за допомогою фотореле або синхронно з роботою приводу конвертера чи міксера.

Для підсилення місцевого освітлення використовуються прожектори. Окрім того, аби зменшити сліпучу дію від розпеченого металу, доцільно фарбувати технологічне обладнання і стіни приміщень у світлі тони. Для забезпечення комфортних умов відпочинку в робочий час у цехах облаштовуються спеціально обладнані кімнати. У таких приміщеннях параметри температури, вологості та повітрообміну регулюються за допомогою систем кондиціювання. Вони оснащені умивальниками з гарячою і холодною водою, пристроями для питного водопостачання та електричними кип’ятильниками.

Санітарно-побутові приміщення складаються з гардеробних для робочого та домашнього одягу, душових і умивальних кімнат. Зазвичай вони розташовуються у три- або чотириповерхових будівлях поряд із цехом, сполучених теплими коридорами.

Для організації питного режиму на території цеху встановлюються сатураторні установки та питні фонтанчики, які забезпечують прісну воду з температурою 8-20°С. Відстань від робочих місць до пунктів водопостачання не повинна перевищувати 75 метрів.

Одним із важливих аспектів покращення умов праці є правильне колірне оформлення приміщень. Найбільш сприятливими для заспокійливого візуального сприйняття вважаються блакитно-зелені відтінки, які створюють відчуття прохолоди.

4.3.2 Організаційні заходи

У контексті боротьби з виробничими травмами надзвичайно важливу роль відіграє організація інструктажів і навчання, особливо на режимних об'єктах, а також підготовка інженерно-технічного персоналу заводу. Інструктажі з безпечних методів роботи проводяться в чотирьох формах:

1. Вступний інструктаж здійснюється інженером з охорони праці.

2. Первинний інструктаж на робочому місці проводить майстер, механік або старший електрик відповідного цеху.

3. Періодичний повторний інструктаж організовує майстер у строки, визначені розпорядженням головного інженера підприємства.

4. Позаплановий інструктаж проводять ті самі майстри на дільницях у разі зміни технологічного процесу, порушення правил безпеки працівником, чи у випадку травматизму, спричиненого недостатнім рівнем знань із безпечного виконання робіт.

Основна мета первинного інструктажу на робочому місці – продемонструвати правильні методи роботи. Незалежно від його проведення, усі нові працівники, залежно від складності професії та особливостей роботи, повинні протягом 6-10 змін стажуватися під керівництвом досвідченого колеги. До виконання самостійної роботи на режимних установках допускаються лише ті особи, які пройшли навчання тривалістю від одного до трьох місяців та успішно склали іспит перед кваліфікаційною комісією.

4.4 Заходи пожежної безпеки

За рівнем вибухопожежної небезпеки конвертерний цех відноситься до категорії Г, оскільки в ньому використовуються горючі речовини та матеріали у гарячому або розпеченому стані, що супроводжується виділенням лише променистої енергії.

У цеху можуть виникати ситуації, коли рідкий метал або шлак потрапляють на вологу підлогу, ґрунт, матеріали чи конструкції. Такі події часто призводять до вибухів, що супроводжуються викидом розпеченого металу або шлаку.

Особливо небезпечними є вибухи у фурмах, адже вони можуть спричиняти руйнування склепіння. Через фурмовий отвір на робочий майданчик викидаються розпечений кокс і гази, що, змішуючись з повітрям, спалахують та створюють довгі язики полум'я.

Конвертерний цех належить до будівель першого ступеня вогнестійкості.

Протипожежні профілактичні заходи

До засобів і способів гасіння пожеж відносяться використання вуглекислоти, технологічної пари, хімічної та повітряно-механічної піни, а також води. Для ліквідації пожежі до місця загоряння прокладаються пожежні рукави. У виробничих приміщеннях облаштовано протипожежні зони, оснащені ящиками з піском, ємностями з водою та пожежним інвентарним щитом.

Серед засобів пожежогасіння, якими оснащено ККЦ, виділяються:

- установка водяного пожежогасіння
- установка пінного пожежогасіння
- установка газового пожежогасіння.

Для технічного виявлення пожежі в захищених приміщеннях передбачено встановлення теплових і димових пожежних сповіщувачів, зокрема таких моделей, як С-2000-СМК, С-2000-ІП, ІП-212-50-М.

Біля зовнішніх виходів розміщуються ручні пожежні сповіщувачі марки БолідІПР-513-3А.

Система пожежної сигналізації призначена для оперативного виявлення загорянь та подання звуково-світлового сигналу про спрацювання сповіщувачів.

Блискавкозахист І категорії.

За першою категорією забезпечується захист об'єктів, які відповідно до класифікації ПУЕ належать до вибухонебезпечних зон класів В-1 та В-П. Для всіх цих об'єктів зона захисту передбачається виключно типу А.

Блискавка, розряд якої характеризується високою силою струму, нагріває повітря у своєму каналі до температури близько 20 000 градусів. Таке явище може призвести до займання горючих речовин, вибухів, руйнувань, а також створити небезпеку для життя людей.

Основними засобами блискавкозахисту є стрижневі або тросові блискавковідводи: окремо стоячі варіанти чи ізольовані конструкції, що монтуються безпосередньо на об'єкті, який потребує захисту.

Вибухонебезпечність

Вибухи в конвертерних цехах трапляються досить рідко, але їхній руйнівний потенціал є значним через велику місткість сучасних конвертерів. Для забезпечення безпеки в таких цехах важливо уникати контакту розплавленого металу або шлаку з водою чи вологими матеріалами. Причиною вибухів під час взаємодії рідкого металу або шлаку з водою є миттєве випаровування останньої, особливо якщо утворена пара не має можливості вільно виходити назовні. Такі вибухи створюють серйозну небезпеку, тому стан водоохолоджуваних фурм, кесонів та димоходів, які розташовані над конвертером, потребує особливо ретельного контролю.

Особливе занепокоєння викликає потрапляння вологи під струмінь розплавленого металу під час заливання сталі у ковші. У таких випадках вода охолоджує прилеглі шари металу, формуючи тверду кірку. Під цією кіркою відбувається випаровування та розкладання вологи, що призводить до утворення гримучої суміші. Як правило, вибух стається наприкінці заливки ковша або на початку розливання сталі у форми. Джерелом таких ситуацій можуть бути розкислювачі, зокрема феромарганець, феросиліцій та інші. Їхнє перевищення порушує хімічну рівновагу складових ванни, що може призвести до неконтрольованих реакцій.

Категорично забороняється подавати розкислювачі в порожній ківш перед заливанням металу. В наповнений ківш їх необхідно додавати поступово, невеликими порціями. У процесі внесення розкислювачів персонал зобов’язаний перебувати на безпечній відстані від робочої зони.

4.5 Розрахунок штучного освітлення конвертерного відділення

Вихідні дані з цеху:

- Висота цеху = 19м;
- ширина цеху = 15м;
- Довжина цеху = 240м.

Розчислимо висоту підвісу світильників, м:

$$h_{р.с}= H – H_{р.пл,} \quad (4.1)$$

де Н - висота конвертерного відділення, м;

$H_{р.пл}$ - висота розташування робочого майданчика, м.

$$h_{р.с}= 19 - 12 = 7 \text{ м.}$$

Робота в киснево-конвертерному цеху відноситься до VII розряду.

Приписуємо джерело світла – лампа розжарювання, тип світильника: УПД

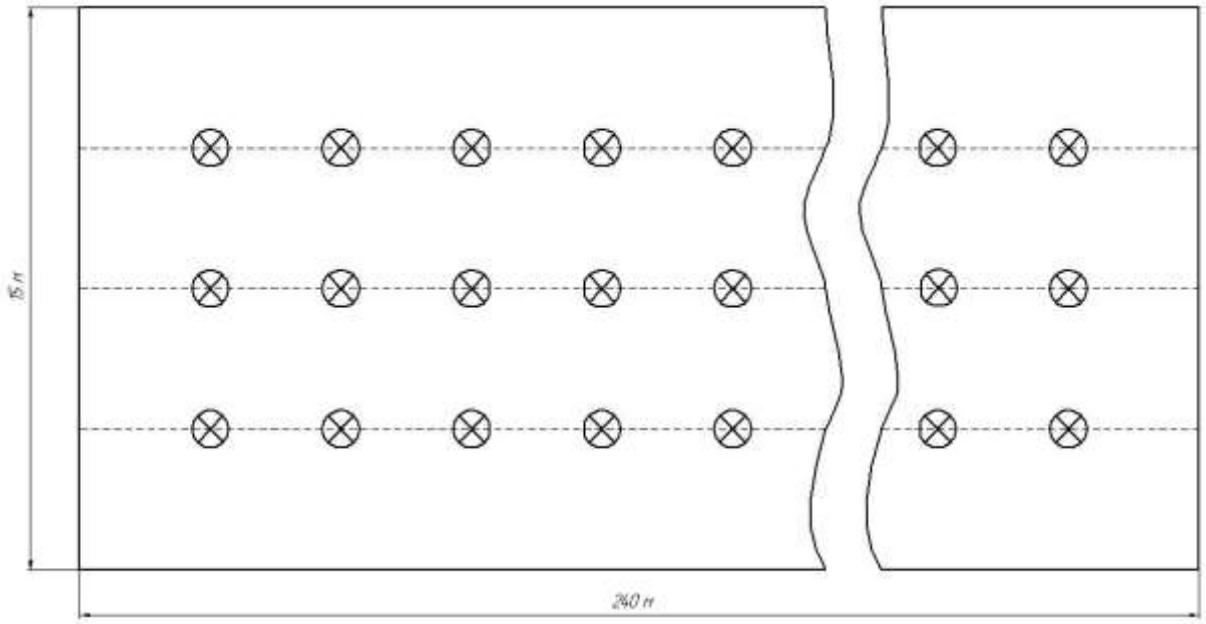


Рисунок 4.1 – Схема розташування світильників у конвертерному відділенні

Обрахуємо загальну кількість світильників:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta_л \cdot F_л} \quad (4.2)$$

E –нормована освітленість (150 лк)

S –площа підлоги (3600 м^2)

K –коефіцієнт запасу = 1,5

n –число ламп у світильнику (n=2)

$F_л$- світловий потік лампи = 0,62

Z- коефіцієнт нерівномірності освітлення = 1,1

$\eta_л$- коефіцієнт використання світлового потоку = $3,5\times10^3$

Тоді

$$N = \frac{150 \cdot 3600 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot 0,62} = \frac{891000}{4340} = 207 \text{ шт.}$$

Тоді при 3-х рядному розташуванні світильників кількість їх у ряду стоятиме

$$n = \frac{N}{3} = \frac{207}{3} = 69 \text{ шт.}$$

Установлюємо в кожній точці підвісу по 1 світильнику УПД з 2-ма лампами розжарювання по 1500 Вт і світловим потоком 33000лк.

Висновок: за цим розрахунком цех освітлюється повністю, додаткового освітлення не треба.

ВИСНОВКИ

На основі результатів кваліфікаційної роботи зроблено такі висновки:

1. Проведено аналіз функцій, особливостей будови та властивостей вуглецевмісних матеріалів, які входять до складу ШУС, що застосовуються у процесі безперервного розливання сталі.

2. У ході досліджень було розглянуто дев’ять видів вуглецевмісних матеріалів (ВВМ), які потенційно можуть використовуватися як ШУС для цього процесу.

3. На основі вивчення фракційного та хімічного складу вибраних ВВМ сформовано рецептуру дослідницьких ШУС, що базуються на 4- і 5-компонентних складах, які нині виготовляються у відділенні підготовки сумішей.

4. Визначено основні методики для аналізу службових характеристик ШУС: температури початку та кінця плавлення, в'язкість рідких шлаків, швидкість їх плавлення на дзеркалі металу в кристалізаторі.

5. Результати вимірювань показали, що заміна аморфного графіту обраними ВВМ у складі ШУС незначно впливає на температурні характеристики їх плавлення. Однак збільшення вмісту вуглецю в ШУС з 3 до 11 % призводить до зниження температур початку та кінця плавлення на 10–30 °С.

6. Температура початку плавлення для 4-компонентних складів ШУС становить 1160–1200 °С, а кінця плавлення – 1195–1200 °С. Для 5-компонентних сумішей ці показники змінюються у межах: температура початку плавлення – 1070–1100 °С, температура кінця плавлення – 1095–1130 °С.

7. Вид вуглецевмісних матеріалів не впливає на в'язкість шлаків у температурному діапазоні 1300–1500 °С. Збільшення кількості графіту у складі ШУС призводить до деякого підвищення в'язкості розплавів. В'язкість розплавів 4-компонентних ШУС у досліджуваному інтервалі температур на 30–70 % більша порівняно з розплавами 5-компонентних ШУС, що, імовірно, пов’язане з їхнім вищим рівнем температури плавлення.

8. В'язкі та температурні характеристики дослідницьких ШУС виявилися близькими до аналогічних показників базових складів ШУС.

9. Встановлено, що швидкість плавлення 4- і 5-компонентних ШУС при однаковому вмісті одного й того самого виду ВВМ практично не відрізняється. Проведено аналіз залежності швидкості плавлення ШУС від рівня вмісту вуглецю в різних ВВМ. Швидкість плавлення базових ШУС, у складі яких застосовується аморфний графіт, коливається від 0,037 до 0,055 кг/(см²·с), що забезпечує їх питому витрату на рівні 0,9–1,0 кг/т сталі, яка близька до оптимальної.

10. Аналіз отриманих результатів щодо швидкості плавлення ШУС, окисної здатності різних ВВМ і умов постачання (враховуючи вартість та транспортування), дозволяє рекомендувати для дослідного тестування в складі ШУС використання графіту ГСС і мінералізованого вуглеграфіту.

11. Випробування в умовах цеху засвідчили, що 4-компонентні ШУС із додаванням мінералізованого вуглеграфіту у кількості 12-15 % маси демонструють експлуатаційні властивості, аналогічні з тими, які мають ШУС з аморфним графітом. При цьому питома витрата дослідної ШУС становить 0,75–0,77 кг/т рідкої сталі.

12. Якість поверхні литих слябів, отриманих із використанням як дослідних, так і порівняльних ШУС, перебуває на однаковому рівні. Водночас вихід придатного металу збільшився на 45%.

13. Для промислового впровадження рекомендовано суміш такого складу (% маси): основний шлак – 33, кислий шлак – 38, плавиковий шпат – 14, мінералізований вуглеграфіт – 15. За поточного обсягу розливу сталі на МБЛЗ комбінату необхідність у мінералізованому вуглеграфіті оцінюється на рівні 100–125 тонн на рік.

14. На криволінійних МБЛЗ із використанням шлакоутворювальної суміші ШОС-Т-4-2(З) було відлито понад 500 тис. тонн металу.

15. Результати промислових випробувань суміші ШОС-Т-4-2(З) засвідчили стабільність її хімічного складу, що забезпечує постійність фізичних властивостей – в'язкості та температури плавлення.

16. Використання суміші ШОС-Т-4-2(З) дало позитивний результат при розливанні широкого асортименту марок сталі. Індекс відсортування металу,

виробленого із застосуванням цієї суміші, є нижчим порівняно з металом, отриманим за допомогою імпортних сумішей.

17. Шлакоутворювальна суміш ШОС-Т-4-2(З) впроваджена у серійне виробництво на криволінійних МБЛЗ для розливу широкого асортименту марок сталі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Смирнов В.О., Білецький В.С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Навчальний посібник. Донецьк : Східний видавничий дім, 2005. 148 с.

2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.

3. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.

4. IISI: Steel Statistical Yearbook 2005, [Hrsg.:] Intern. Iron and Steel Inst., Committee on Economic Studies. Brussel, Belgien, 2005. S. 15-16.

5. Мазур І.А., Волох В.І., Морозов І.В. Дослідження процесу формування шлакових включень у заготовках при машинно-безперервній розливці сталі. *Перспективні технології та прилади. Луцьк, 2024. Випуск №24. С. 58-64.*

6. Підвищення ефективності безперервного розливання сортової заготівлі / А. А. Мінаєв, А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко та ін. *Метал та лиття України.* 2001. № 5-6. С. 22-25.

7. Властивості шлакоутворювальних сумішей для безперервного розливання стали з підвищеною швидкістю / О. М. Смирнов, С. Л. Макуров, М. В. Єпішев та ін. *Метал та лиття України*. 2006. № 1. С. 55-57.

8. Механізм формування шорсткої поверхні шлакового гарнісажу та її вплив на величину термічного опору, зазору між оболонкою злитка та стінкою кристалізатора / Н. П. Лякішев, Н. А. Арутюнян, А. І. Зайцев та ін. *Метали*. 2005. № 3. С. 3-15.

9. Shuai, Y.; Sun, L.F.; Cao, R.H.; Xiao, N.G. Numerical analysis of influence of billet submerged entry nozzle on mold flow field and temperature field. Foundry Technol. 2018, 39, 167–171.

10. Розрахунок параметрів фізичного моделювання процесів розподілу інокулярів у кристалізаторі МБЛЗ / Е.В.Сінегін, Б.М. Бойченко, В.Г. Герасименко [та ін.]. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2012. №7. С.127-130.

11. Guan,W.B.;Wang, Z.; Zhu, J.; Song, M.M. Analysis and optimization the reason of surface slag-scratch defect of casting billet on No.70 steel. *Shanxi Metall*. 2019, 181, 21–22.

12. Yong-feng Chen; Li Zhao; Xiao-tan Zuo; Qun-nan Tao; Hong-biao Zhang; Hai Li; Qiang-qiang Wang; and Sheng-ping He. Investigation and Minimization of Slag Spot Surface Defects in Continuous Casting of High Carbon Steel Billets through Statistical Evaluation. *Metall. Mater. Trans. B* 2020, 10, 10–11.

13. Комов І. Г. Охорона праці чорної металургії. Київ : Техніка, 1986. 192с.

14. Гапоненко О. Д., Савостін Д. З. Правила безпеки для підприємств та організацій металургійної промисловості. Дніпропетровськ : Промінь, 1970. 352с.

15. Краснов Л. М. Охорона праці. Дніпропетровськ : Промінь 1981. 190с.

16. Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.

17. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».

18. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.

19. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги.

20. ДСТУ 3038-95 Гігієна. Терміни та визначення основних понять.

21. ДСТУ ГОСТ 12.4.221:2004 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования (ГОСТ 12.4.221-2002, IDT).

22. НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безопасной эксплуатации электроустановок (ДНАОП 1.1.10-1.01-97).

23. СНиП 2.01.02-85*. Протипожежні норми (Діє ДБН В 1.1-7-2002) (2.01.02-85*).

24. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

25. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.