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 **Проєкт цеху річною продуктивністю 250 тис. тонн інструментальної сталі на рік в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»**

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1362-м-с
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Є.Г. Пальвальов
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н, доц. Воляр Р.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доц., к.т.н., доц. Нестеренко Т.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

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)

_____Пальвальову Євгену Геннадійовичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Проєкт цеху річною продуктивністю 250 тис. тонн інструментальної сталі на рік в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»_____
_____
керівник роботи _____Воляр Роман Миколайович, к.т.н., доц._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «27» грудня 2024 року №2029-с_____

2 Строк подання студентом роботи _____16.06.2025_____

3 Вихідні дані до роботи __Розробити проєкт цеху річною продуктивністю 250 тис. тонн інструментальної сталі на рік в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»_____
_____

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)
__10 креслень_____

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	12.05-17.05.2025	
2	1 Загальна частина	18.05-23.05.2025	
3	2 Конструкційна частина	24.05-29.05.2025	
4	3 Технологічна частина	30.05-04.06.2025	
5	4 Охорона праці та техногенна безпека	05.06-10.06.2025	
6	Висновки, перелік джерел посилання	11.06-15.06.2025	

Студент _____ _____Є.Г.Пальвальов_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ _____Р.М.Воляр_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____О.С.Воденнікова___
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 12 табл., 5 рис., 27 джерел

ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНИЙ ЦЕХ, ЕЛЕКТРОДУГОВА ПІЧ, 15Х5ВФ, ШИХТА, ПЕРЕПЛАВ, ПІЧ-КІВШ, ВАКУУМАТОР, РОЗЛИВКА

Мета роботи – розробка технології та розрахунок необхідної кількості обладнання для виробництва інструментальних сталей для електросталеплавильного цеху обсягом 250 тис. тонн сталі на рік.

В загальній частині наведено обґрунтування доцільності проєктування цеху, вибір сортаменту марок сталей, що виплавляються, розрахована необхідна кількість основного та допоміжного обладнання та його розміщення в цеху.

В конструкційній частині наведений вибір конструкції основних виробничих агрегатів, описані основні елементи конструкції електросталеплавильних печей типу ДСП-50 та представлений режим роботи, зроблений вибір основного підйомно-транспортного обладнання.

В технологічній частині наведено властивості і призначення сталі, що виплавляється, технологія виплавки, наведено розрахунок шихтових і легуючих елементів.

У частині «Охорона праці та техногенна безпека» проведено аналіз мікрокліматичних умов в електросталеплавильному цеху, проведено розрахунок повітряної завіси.

ЗМІСТ

Вступ 7
1 Загальна частина 8
1.1Обгрунтування доцільності будівництва цеху 8
1.2Вибір сортаменту марок, що виплавляються, стали в проектованому цеху 10
1.3Обгрунтування тривалості плавки 11
1.4Розрахунок продуктивності сталеплавильних агрегатів 11
1.5Визначення основних розмірів печі 14
1.6Вибір електричного режиму печі 19
1.7 Розрахунок кількості обладнання 20
1.7.1Розрахунок кількості КПК 20
1.7.2Розрахунок кількості вакууматорів 20
1.7.3Розрахунок кранів у цеху та їх вантажопідйомності 21
1.7.4Розрахунок необхідної кількості ковшів 23
1.7.5Розрахунок МБЛЗ вертикального типу 24
1.8Опис головного будинку цеху та прольотів 27
1.8.1Шихтовий проліт 28
1.8.2Пічний проліт 28
1.8.3Розливальний проліт 29
1.8.4Дільниця термообробки та відвантаження заготовок 30
2 Конструкційна частина 31
2.1Опис печі 31
2.2Опис агрегату ківш – піч 32
2.3Опис вакууматора 33
2.4Опис МБЛЗ 36
3 Технологічна частина 39
3.1 Огляд існуючих способів виробництва штампової сталі,
обґрунтування прийнятого способу виплавки та область застосування 39
3.2Технологія виплавки інструментальної сталі марки 15Х5ВФ 44
3.2.1Підготовка шихтових матеріалів та завалка шихти 44

3.2.2Контроль стану печі 47
3.2.3Вимоги до шихти 49
3.2.4Плавлення 49
3.2.5Окислювальний період плавки 49
3.2.6Рафінування 50
3.2.7 Перемішування шлаку, металу та відбір проб 51
3.2.8Порядок введення феросплавів у шихту та в розплав 52
3.2.9 Випуск та позапічна обробка сталі 53
3.3Термообробка 54
3.4Розрахунок сталі марки 15Х5ВФ 55
4 Охорона праці та техногенна безпека 59
4.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори плавильного ділянки ВАТ «ДСС» 59
4.2 Заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів 63
4.2.1 Інженерні заходи 63
4.2.2 Засоби індивідуального захисту 64
4.2.3 Організаційні заходи 66
4.3 Розробка інженерних заходів щодо зниження електронебезпеки
на плавильній ділянці 67
4.4 Протипожежна безпека в сталеплавильному цеху 68
4.5 Розрахунок захисної повітряної завіси у воріт цеху 70
Висновки 73
Перелік джерел посилання 74

ВСТУП

Наприкінці XIX століття поряд із традиційними сталеплавильними процесами, такими як мартенівський та томасівський, почали використовувати перші дугові електросталеплавильні печі. У цих агрегатах стало можливим здійснювати складні хімічні процеси та виплавляти високолеговані сталі з тугоплавкими елементами.

Сучасна тенденція розвитку металургійних комплексів демонструє зміщення в бік збільшення частки підприємств, що здійснюють плавку в електропечах, за рахунок скорочення кількості заводів із повним виробничим циклом. Це стало основною причиною появи міні-заводів, оснащених електроплавильними й відновними установками, які відрізняються меншими капіталовкладеннями та експлуатаційними витратами порівняно з традиційними заводами повного циклу. Зростання вимог до якості сталей спричинило впровадження нових технологій, зокрема позапічних методів обробки металу, таких як доведення у ковші чи вакуумування. Це суттєво вплинуло на час перебування металу в агрегаті, що, у свою чергу, позначилося на продуктивності печей. Інтеграція термообробних печей безпосередньо в виробничі цехи сприяє зменшенню кількості дефектів у готовій продукції. При цьому енергозатрати значно нижчі у порівнянні з раніше застосовуваними виробничими схемами.

Використання інновацій у сфері високотемпературної хімії, проєктуванні металургійних електроустановок, розливно-прокатних модулів із рідким ядром, а також більш суворі вимоги до термообробки дозволяють отримувати продукцію високої якості з оптимальними фінансовими витратами.

Метою даної роботи є проєктування цеху на базі ПрАТ «Дніпроспецсталь» із річною продуктивністю 250 тисяч тонн.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Обґрунтування доцільності проектування електросталеплавильного цеху

Перспективні плани розвитку економіки ПрАТ «Дніпроспецсталь» включають вдосконалення металургійних процесів, модернізацію та придбання сучасних електросталеплавильних агрегатів. Це дозволить не лише підвищити якість вироблюваного металу, але й збільшити продуктивність обладнання. Реалізація таких завдань залежить від ряду важливих факторів.

Модернізація виробничих потужностей може бути виправданою за умови впровадження інноваційних технологій. У випадках використання високотехнологічного обладнання доцільним рішенням є облаштування спеціалізованих майданчиків, наприклад, будівництво нових цехів, що оптимізують робочий процес.

Технологічні переваги електросталеплавильних печей у порівнянні з іншими методами виробництва металу є суттєвими. Серед них можна виокремити такі аспекти:

- Можливість економічно вигідного виплавляння більшості легованих сталей, усіх високолегованих марок та спеціальних сплавів.

- Контроль процесу плавки для ефективного рафінування металу від шкідливих домішок із забезпеченням мінімальних втрат легуючих елементів під час легування.

- Точний контроль параметрів усіх технологічних операцій до прецизійного рівня.

- Підвищення якості електросталі та значне збільшення продуктивності печей завдяки застосуванню інновацій для інтенсифікації процесів плавлення, розкислення, легування, а також проведення таких операцій, як дефосфорація, десульфурація та дегазація.

Успішне впровадження передових технологій забезпечує покращення якості продукції та оптимізацію виробничих процесів, що є важливою складовою конкурентоспроможності підприємства.

Виробництво металопродукції характеризується наявністю планових втрат, які у деяких випадках можуть становити близько 2%. Переробка товарного металу також супроводжується додатковими втратами, що перевищують 40% високоякісних сталей та сплавів. Зокрема, це втрати, пов’язані з такими чинниками:

- недоливки, ливарний скрап та аварійні втрати під час розливання металу;

- окалина, яку утворює процес термообробки та прокатки;

- обрізки, що надходять переважно з прокатного цеху (наприклад, головна та донна частини зливків, некондиційні залишки, які утворюються в процесі порізки металу);

- стружка, яка також постачається з підрозділів, що займаються підготовкою металу та обробкою партій під індивідуальні замовлення клієнтів.

Якість і обсяги відходів значною мірою залежать від складності виробничих процесів, відповідальності працівників, економічного стимулювання якісної роботи та впровадження сучасних технологій в машинобудуванні. Також важливим аспектом є модернізація наявних технічних рішень.

Будівництво інноваційного сталеплавильного цеху в Запоріжжі є виправданим через низку сприятливих умов:

- завод "Дніпроспецсталь" має вигідне географічне та економічне розташування;

- поблизу знаходяться гідроелектростанція, теплова та атомна електростанції, які забезпечують енергоресурси для енергоємного обладнання;

- район має розвинену залізничну інфраструктуру;

- підприємство розташоване на березі Дніпра, що відкриває можливість річкових перевезень та відвантаження металопродукції морським транспортом;

- постачальниками сировини та матеріалів є такі підприємства, як Запорізький феросплавний завод, «Укрграфіт», «Запоріжкокс» і «Запоріжсталь» (шлакові відвали, відхідні гази);

- у регіоні є надлишок кваліфікованої робочої сили, а також наявні установи, які можуть забезпечити навчання чи підвищення кваліфікації працівників за умови фінансового забезпечення.

Враховуючи перелічені фактори, ідея будівництва сучасного електрометалургійного цеху на базі ПрАТ "Дніпроспецсталь" у Запоріжжі є обґрунтованою та доцільною.

1.2 Вибір сортаменту марок сталі

Ринок інструментальних сталей висуває високі вимоги до якості металу, водночас прагнучи мінімізації витрат. У нашому випадку проектований цех планується спеціалізувати на виробництві високоякісних інструментальних марок сталей із найменшими техніко-економічними затратами. Застосування енергозберігаючих технологій, впровадження безвідходного виробництва та утилізація відходів, що утворюються в суміжних технологічних процесах, сприятимуть суттєвому зниженню собівартості металу. Одночасно це дозволить підвищити якість продукції. Завдяки таким змінам продукція стане більш конкурентоспроможною як за якісними, так і за ціновими показниками.

Зростання рівня конкурентоспроможності підприємства може позитивно впливати на обсяги виробництва, що відкриває можливість домінування на ринку, включаючи сегмент прецизійних сталей. Зараз їх частка в загальному експорті становить 85–90%, і цей показник може зрости за умови скасування квот на постачання металопродукції. У проектованому цеху передбачається виробництво сталей таких категорій: електротехнічних, інструментальних і конструкційних марок.

Таблиця 1.1 – Асортимент марок сталей у проектованому цеху.

№п/п	Марка сталі	%	т/рік
1	15Х5ВФ	45	112 500
2	ШХ15СГ	35	87 500
3	38Х2МЮА	10	25 000
4	Е3	10	25 000
Разом		100	250 000

Виплавка сталі здійснюється із застосуванням стандартних установок ДСП-50, з подальшим коригуванням температурного режиму, а за потреби — й хімічного складу на УПК. Для запобігання дефектам у вигляді флокенів, оксидних та сульфідних включень високої щільності використовується ковшовий вакууматор.

1.3 Обґрунтування термінів тривалості плавки

Тривалість плавки є важливим фактором, що значною мірою впливає на продуктивність печі. Для печей середньої ємності, які завантажуються цебрами і оснащені потужними трансформаторами, на основі розрахункових та заводських даних визначаємо таку тривалість плавки в годинах і хвилинах.

Таблиця 1.2 - Режим електроплавки сталі в печах ДСП-50

№ п/п	Період плавки	Діюче на ДСС	Прийнято
1	Заправка	0-30	0-10
2	Завантаження брухту	0-10	0-15
3	Плавлення	2-30	1-20
4	Завантаження шлаку	0-15	0-10
5	Відновлювальний період	1-00	0-55
6	Випуск металу	0-05	0-10
Разом		4-50	3-00

Середня тривалість плавки становить близько 3 годин 00 хвилин на одній 50-тонній ДСП, після нарощування порогів та скосу подини ємність печі становить 60-65 тонн - критична 75 тонн.

1.4 Розрахунок продуктивності сталеплавильних агрегатів

Кількість робочих діб складається з наступних величин:

1. На капітальний ремонт йде приблизно 20 діб на рік.

2. За практичними даними термін праці футерування агрегату становить ~300 – 350 плавок, приймаємо 400 плавок (передбачаємо підвищення кількості плавок за

рахунок застосування торкреттехнологій). Термін служби стін та поду приймаємо рівним 400 плавок, склепіння 200 плавок. Заміна склепіння становитиме (приймаємо базуючись на виробничих даних) 5 годин.

Тривалість одного циклу становитиме:

$$400 \cdot 3{,}0 + (400 / 200) \cdot 5 = 1210 \text{ годин} \quad (1.1)$$

Термін служби печі від ПВР до ПВР складе:

$$1210: 24 = 50{,}42 \text{ діб} \quad (1.2)$$

Тривалість ремонту 24 години або 1,0 доба, отже, поточні ремонти заберуть на рік:

$$\frac{365-20}{50{,}42+1{,}0} * 1{,}0 = 6{,}67 \text{діб} \quad (1.3)$$

3. Простоями, пов'язані з поточними неполадками (гарячий ремонт футерування), можна зневажити, цей час можна включити в тривалість завалки та випуску металу з печі.

4. На позаплановий ремонт механічного та електричного обладнання сучасних механізованих печей слід відвести 1,5-2 доби.

5.Інші простої 4-5 діб.

Таким чином, кількість робочих діб становитиме:

$$345 - (1 + 2 + 5) = 337 \text{ діб} \quad (1.4)$$

Кількість повних циклів на рік:

$$337: 51{,}42 = 6{,}55 \text{ циклів} \quad (1.5)$$

Продуктивність печі за 1 цикл (400 плавок):

$$400 \cdot 60 = 24000 \text{ т} \quad (1.6)$$

60 - вагу агрегату на кількість товарного металу.

6. Продуктивність печі за 1 рік складе:

$$6{,}55 \cdot 24000 = 157200 \text{ т.} \quad (1.7)$$

7.Реальна кількість товарного металу становитиме 90 – 95%, що відповідно:

$$157200 \cdot 0{,}9 = 141480 \text{ т/рік} \quad (1.8)$$

8.Визначення потрібної кількості печей:

$$250000/141480 = 1{,}77 \text{ печі} \quad (1.9)$$

де 250000 - очікувані річні обсяги виробництва.

Беремо дві печі типу ДСП – 50, з урахуванням імовірної зміни виробничої програми, зміни тривалості плавки (зростання часу перебування металу у печі) – найчастіше пов'язане з якістю шихтових матеріалів або проведенням незапланованих робіт, приймаємо додатково ще одну установку типу ДСП – 50.

Прийнята кількість установок ДСП – 50 для виконання прийнятої виробничої програми дорівнює – трьом.

Потенційно максимальна кількість виробництва товарного металу становитиме:

$$157200 \cdot 3 = 471600 \text{ т/рік} \quad (1.10)$$

Максимальна продуктивність агрегатів:

$$471600 \cdot 0,9 = 424440 \text{ т/рік} \quad (1.11)$$

Завантаженість агрегатів при прийнятому річному обсязі виробництва:

$$(250000/424440) \cdot 100\% = 58,9\% \quad (1.12)$$

1.5 Визначення основних розмірів печі

Основні розміри печі встановлюються, виходячі з номінальної ваги плавки Р.

$$V_B = V_1 + V_2 + V_3 = 3,5 + 0,56 + 0,9 = 4,96 \text{ м}^3 \quad (1.13)$$

де: V_1; V_2 – обсяг відповідно металу та шлаку м^3.

$$V_1 = P \cdot \alpha_1 = 25 \cdot 0,14 = 3,5 \text{ м}^3 \quad (1.14)$$

$$V_2 = \frac{\beta}{100} * \frac{P}{\gamma} = \frac{7}{100} * \frac{25}{3,14} = 0,56\text{м}^3 \quad (1.15)$$

$$V_2 = \frac{\beta}{100} * \frac{P}{\gamma} = \frac{7}{100} * \frac{25}{3,14} = 0,56м^3 \quad (1.15)$$

α_1 – питомий обсяг рідкого металу, м^3/т;

β – кількість шлаку, від кількості металу %, коливається від 4 до 10, приймаємо 7 %.

γ - щільність шлаку т/м^3, вимірюється в межах γ = 2,8…3,6, приймаємо γ = 3,14 т/м^3;

V_3 – додатковий обсяг на перевантаження печі та кипіння металу, м^3.

δ – додатковий обсяг печі, при Р = 50 т, беремо δ = 9 %,

Розрахунковий обсяг ванни:

$$V_p = V_1 + V_2$$

де V_1 - обсяг усіченого конуса рівня порога робочого вікна, м^3.

V_2-обсяг кульової частини ванни, м^3.

$$V_p = \frac{\pi * H_1}{12} * (D_1^2 + D_3^2 + D_1 * D_3) + \frac{\pi * H_2}{L} * (0{,}75 * D_3 + H_2^2) \quad (1.16)$$

де H_1 та H_2 – глибина конічної та сферичної частини ванни відповідно, м

Для полегшення розрахунку, в основу береться, один із параметрів і через нього виражаються інші. Задаємося співідношенням рівня порога робочого вікна або діаметром дзеркала ванни D_1 до глибини ванни H:

$$M = \frac{D_1}{H} \quad (1.17)$$

Значення величини M залежно від місткості печі коливається від 4,0 до 6,5 і може бути прийнятим за P = 50 т M = 4,5.

Зі збільшенням діаметра дзеркала ванни знижується теплова напруженість стін, що сприяє збільшенню терміну служби футерування. При цьому збільшується обсяг плавильного простору, що дає змогу використовувати легковагу шихту. Проте із зростанням розміру дзеркала ванни печі одночасно відбувається підвищення теплових втрат через кожух печі.

Виразивши глибину конічної та сферичної частини ванни, та діаметр її сферичної частини через глибину ванни, можна визначити розрахунковий обсяг ванни:

$$V_P = V_1 + V_2 = H_3 \cdot (0{,}705 \cdot M2 - 1{,}255 \cdot M + 0{,}742) \quad (1.18)$$

Вираз у дужках (розрахунковий коефіцієнт) позначаємо a_1, тоді:

$$V_P=H_З \cdot a_1 \quad (1.19)$$

Значення a_1 розраховується в залежності від прийнятого значення М і коливається від 8 для малих печей і до 24 – для великих.

Для М = 4,5

$$a_1= 0,705 \cdot 4,52 - 1,255 \cdot 4,5 + 0,742 = 7,88 \quad (1.20)$$

Нормальна умова роботи печі забезпечується за VB = VP

$$H = \sqrt[3]{\frac{V_B}{\alpha^1}} = \sqrt[3]{\frac{4,96}{7,88}} = 0,85m \quad (1.21)$$

З конструктивних міркувань приймаємо:

$$H_1= 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 0,85 = 0,68 \text{ м} \quad (1.22)$$

$$H_2= 0,2 \cdot H = 0,2 \cdot 0,85 = 0,17 \text{ м} \quad (1.23)$$

Глибина укосів над рівнем порога робочого вікна $H_З$:

Приймається 0,15 м

Діаметр дзеркала ванни:

$$D_1= M \cdot H = 4,5 \cdot 0,85 = 3,825 \text{ м} \quad (1.24)$$

Діаметр робочого простору на рівні сполучення відкосів та стін:

$$D = D_1 + 2 \cdot H_З= 3,825 + 2 \cdot 0,15 = 4,125 \text{ м} \quad (1.25)$$

Діаметр сферичної частини ванни:

$$D_3 = H \cdot (M - 1,6) = 0,85 \cdot (4,5 - 1,6) = 2,465 \text{ м} \quad (1.26)$$

Товщина футеровки подини H_4 братиметься рівною глибині ванни. На печах місткістю 50 т і більше передбачається встановлення пристрою для електромагнітного перемішування металу в печі і тут товщина подини зменшується на 15 - 30%.

$$H_4 = 0,85 \cdot H = 0,85 \cdot 0,85 = 0,725 \text{ м} \quad (1.27)$$

У електропечах, що діють, висота плавильного простору приймається $H_н$ = 2,1…2,2 · H:

$$K = 2,1 \cdot H = 2,1 \cdot 0,85 = 1,785 \text{ м} \quad (1.28)$$

Висота підйому склепіння стріли H_5 вимірюється в межах $(0,08…0,10) \cdot D_1$:

$$H_5 = 0,08 \cdot D1 = 0,08 \cdot 3,825 = 0,306 \text{ м} \quad (1.29)$$

Висота робочого простору від рівня порогу робочого вікна до найвищої частини склепіння:

$$L = K + H_5 = 1,785 + 0,306 = 2,09 \text{ м} \quad (1.30)$$

Ширина робочого вікна А приймається від 0,32 м дна дзеркала ванни для малих та до 0,25 для великих печей:

$$A = 0,25 \cdot D1 = 0,32 \cdot 3,825 = 1,224 \text{ м} \quad (1.31)$$

Висота робочого вікна коливається в межах від 0,62 м до 0,7 м ширини:

$$У = 0,6 \cdot A = 0,6 \cdot 1,224 = 0,73 \text{ м} \quad (1.32)$$

Внутрішній діаметр кожух печі:

$$D_4 = D + 2d_1 = 3,825 + 2 \cdot (0,075 + 0,460) = 4,895 \text{ м} \quad (1.33)$$

де: d_1 – мінімальна товщина теплоізоляційного шару та вогнетривкого шару футерування, що залежить від ємності печі. Товщина кожуха печі d_2 приймаємо рівною $1/200 \cdot D_4$:

$$\delta_2 = \frac{D_4}{200} = \frac{4{,}895}{200} = 0{,}02\text{м} \quad (1.34)$$

Зовнішній діаметр кожуха печі:

$$D_5 = D_4 + 2d_2 = 4{,}895 + 2 \cdot 0{,}02 = 4{,}935 \text{ м} \quad (1.35)$$

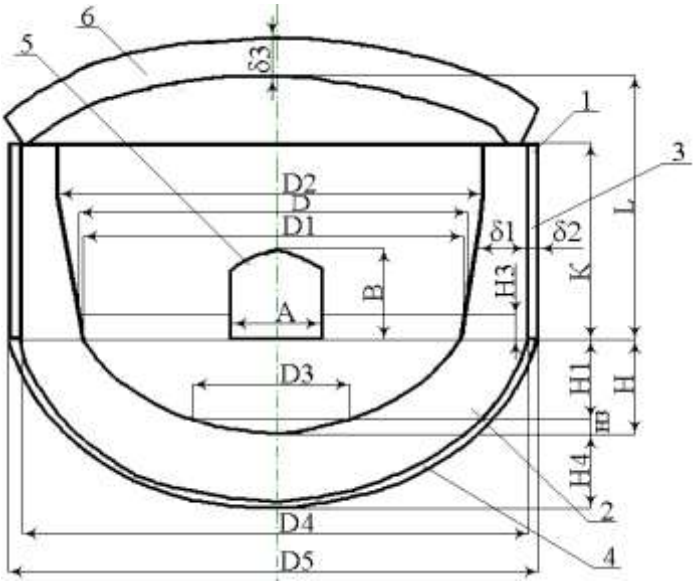
Максимальний діаметр робочого простору печі на рівні стику стін та п'ят склепіння:

$$D_2 = D + 2 \cdot (K - H_3) \cdot 0{,}1 \quad (1.36)$$

$$D_2 = 4{,}125 + 2 \cdot (1{,}785 - 0{,}150) \cdot 0{,}1 = 4{,}45 \text{ м} \quad (1.37)$$

При товщині склепіння d_3 прийнятої залежно від місткості печі: P<=25 т d_3 = 0,23 м; при P = 25 ... 100 т d_3 = 0,3; при P> 100т d_3 = 0,46 м

Приймаємо товщину склепіння, що дорівнює d_3 = 0,3 м.



1 – кожух; 2 – футерування; 3 – подина; 4 – арка; 5 – оглядове вікно; 6 – склепіння

Рисунок 1.1 – Схема ДСП з основними розмірами

1.6 Вибір електричного режиму печі

Від електричного режиму залежать електричні параметри печі. Для того щоб визначити електричні параметри, будують робочі характеристики, що зображують залежність між силою струму I і такими параметрами, як напруга дуги $U_д$, селективна потужність P_a, що споживається, корисна потужність дуги $P_{кор}$. Електричний ККД - $\eta_{эл}$, коефіцієнт потужності cosφ.

Розрахунок основних характеристик електричних параметрів пеі на період плавлення шихти та вибору оптимального режиму роботи, виконаний з використанням спеціалізованих програм.

На підставі отриманих даних побудований графік залежності електричних характеристик дугової електропечі на період плавки трансформатора 45кВа.

З побудованого графіка, наведеного на рис. 1.2 видно, що у ДСП корисна потужність максимальна при силі струму 94210 А, потужність з мережі у своїй 42129 кВт, а втрати потужності становлять 16548 кВт.

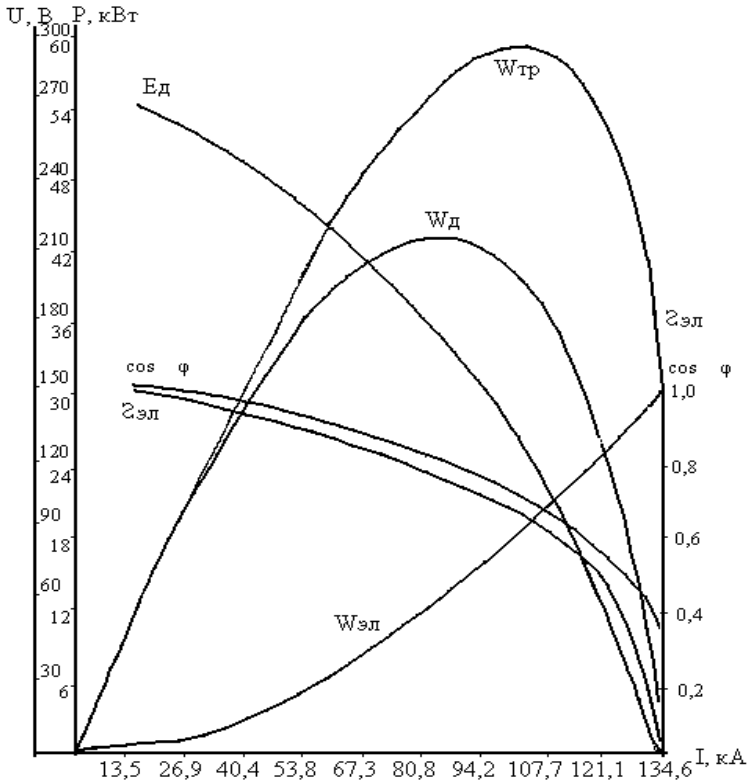


Рисунок 1.2 – Графічне представлення змін електричних характеристик пічного трансформатора потужністю 45 кВа

Крива корисної потужності має точку перегину. Це означає, що те саме значення потужності, що виділяється всередині печі, може бути досягнуто при двох різних значеннях сили струму.

При силі струму 81 кА показники вигідніші: cosφ = 0,83; $\eta_{ел}$ = 0,79; втрати потужності $W_{ев.р}$ = 12151 кВт. Для I = 107 кА, корисна потужність 36619 кВт буде отримана при cosφ= 0,65 , а $\eta_{ел}$ =0,63, втрати потужності 21600 кВт. Таким чином, видно, що працювати необхідно при режимі, що визначається лівою гілкою кривої.

1.7 Розрахунок кількості обладнання

1.7.1 Розрахунок кількості УПК

УПК планується використовуватиме на 100%, що становитиме:

$$250\,000 \cdot 1 = 250\,000 \text{ тонн/рік} \quad (1.38)$$

Тривалість обробки на УПК 45 хвилин, простої складають 1 годину, інші невраховані - 45 хвилин (приймаємо приблизно 1,5 години). Виходячи з даних, отримаємо:

$$((250000 / 60) \cdot 1{,}5) / (337 \cdot 24) = 77{,}28\% \quad (1.39)$$

З раніше представлених розрахунків заснованих на емпіричних даних, випливає, що кількість УПК, що задовольняє потребам проектованого цеху становить 1, з коефіцієнтом використання (завантаженості) 77,28%.

1.7.2 Розрахунок кількості вакууматорів

Для покращання якості сталі застосовуємо позапічне вакуумування. Проводимо вакуумацію 80% плавок, що становитиме:

$$250\,000 \cdot 0{,}8 = 200\,000 \text{ тонн/рік} \quad (1.40)$$

Тривалість вакуумування 15 - 20 хвилин, набір і скидання вакууму з наїздом кришки і установкою ковша приймаємо 1 годину.

$$200000/60 = 3333{,}3 \text{ плавок} \quad (1.41)$$

$$(2 \cdot 3333{,}3) / 24 = 277{,}78 \text{ днів} \quad (1.42)$$

$$(337/277{,}78) \cdot 100\% = 82{,}43\% \quad (1.43)$$

З раніше наведених розрахунків заснованих на емпіричних даних, спливає, що кількість вакууматорів, що задовольняє потребам цеху становить 1, з коефіцієнтом використання (завантаженості) 82,43%.

1.7.3 Розрахунок кранів у цеху та їх вантажопідйомності

За довідниковими даними тривалість операцій, що виконуються завалочним краном, становить 15хвилин [4].

Заборгованість крана на завалку трьох печей становить:

$$15 \cdot 3 \cdot 6 = 270 \text{ хвилин} \quad (1.44)$$

Так як завалки відбуваються з підвалками, приймаємо 1 підвалку завалку:

$$3 \cdot 270 \cdot 3 = 2430 \text{хвилин} \quad (1.45)$$

Заборгованість крана на нарощування електрода становить:

$$3 \cdot 6 \cdot 6 = 108 \text{хвилини на плавку} \quad (1.46)$$

Заборгованість крана на зміну склепіння – 30 хвилин на плавку

При стійкості склепіння 200 плавок складе:

$$200/(6 \cdot 3) = 11{,}1 \text{ хв.} \quad (1.47)$$

Невраховані роботи становлять 250-300 хвилин.

Заборгованість крана на добу на подачу цегли для ремонту стін та склепіння становить 180-200 хвилин.

На зняття каркаса зі старою футеровкою та встановлення нового становитиме 60 хвилин.

Різні підсобні роботи становитимуть 50 хвилин.

Загалом заборгованість крана на ремонт печей складе:

$$200 + 60 + 50 = 310 \text{ хвилин} \quad (1.48)$$

Заборгованість крана на добу на подачу контейнерів із сипучими матеріалами становить 800 хвилин.

Перезмінка складає 45 хвилин.

Загальна заборгованість крана на добу становитиме:

$$2430+108+11+310+800+45=3704 \text{ хвилин} \quad (1.49)$$

Необхідна кількість кранів при завантаженості крана 1,1:

$$(3704 \cdot 1{,}1) / (24 \cdot 60) = 2{,}83 \text{ крана} \quad (1.50)$$

Приймаємо необхідну кількість кранів на пічному прольоті, що дорівнює трьом (покладаючись на розрахунково – емпіричні дані).

Завантаженість кранів складе:

$$((3704 \cdot 1{,}1) / (24 \cdot 60 \cdot 3)) \cdot 100\% = 94{,}3\% \quad (1.51)$$

Вантажопідйомність крана для нормальної роботи – 250 т.

1.7.4 Розрахунок необхідної кількості ковшів

Ємність сталерозливного ковша становить 60 т з урахуванням збільшення обсягу печі за рахунок використання футерування.

$$n_n^c = \frac{n_{пл}^{max} \cdot \tau_n}{1440} = \frac{24 \cdot 480}{1440} = 8 \text{ ковшів} \quad (1.52)$$

де: -$n_{пл}^{max}$ –кількість плавок на добу:

$$(24/3{,}0) \cdot 3 = 24$$

τ_n –тривалість зміни (8 годин або 480 хвилин);

1440 – кількість хвилин на добу.

При стійкості футерування ковша 18 плавок, в ремонті за добу буде:

$$24{:}8{=}3 \text{ ковша} \quad (1.52)$$

При цьому тривалість ремонту одного ковша 8-16 годин, приймаємо 10 годин:

$$\frac{3 \cdot 10}{24} = 1{,}25 \text{ ковшів} \quad (1.53)$$

Приймаємо необхідну кількість ковшів два.

Для ремонту ковшів потрібна присутність у цеху ям для їх ремонту: один ківш зобов'язаний бути завжди в резерві для прийому аварійної плавки.

З урахуванням цього потрібна кількість ковшів у прольоті буде:

$$8{+}2{+}1{=}11 \text{ ковшів} \quad (1.54)$$

1.7.5 Розрахунок МБЛЗ вертикального типу

Розрахунок продуктивності та кількості МБЛЗ

Приймаємо заготовки вуглецевої сталі перетином 350 х 250

Середня швидкість витягування приймаємо $V_{ср} = 0,8$

Резервна швидкість розливання:

$$V_{рез} = V_{ср} + 0,5 \cdot V_{ср} = 0,8 + 0,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ м / хв} \quad (1.55)$$

Час повного затвердіння заготовки:

$$\tau_к = \frac{в^2}{4к^2} = \frac{250^2}{4*28^2} = 19,9 \text{хв} \quad (1.56)$$

де: в - товщина заготовки, мм

коефіцієнт К приймаємо рівним 28 мм/хв^{0,5}

Протяжність зони вторинного охолодження:

$$Z_{\text{втор.охл.}} = 19,9 \cdot 1,2 = 23,08 \text{ м} \quad (1.57)$$

Довжина тягнучої кліті $Z_{т.к.}$ приймається не більше 2-3м.

Розрахунок тривалості циклу роботи МБЛЗ

Підготовка МБЛЗ до розливання.

Максимальна швидкість витягування приймаємо $V_{макс.} = 1,8$ м/хв.

Час введення заготовки складе:

$$\tau_1 = \frac{Z_{в.охл} + Z_{т.к}}{V_{макс.}} = \frac{23,08+3}{1,8} = 14,4 \text{хв} \quad (1.58)$$

де: $Z_{в.охл}$ - довжина зони вторинного охолодження, м

$Z_{т.к}$ - довжина клітки, що тягне, м

Беремо час підготовки кристалізатора до роботи τ_2 = 10 хв та встановлення сталерозливного ковша τ_3 = 3 хв, тоді загальний час підготовки МБЛЗ до роботи буде:

$$\tau_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 14{,}4 + 10 + 3 = 27{,}4 \text{ хв} \quad (1.59)$$

Розливання металу на МБЛЗ

Масова швидкість розливу на один струмок qp:

$$Q_p = а \cdot в \cdot V_{ср.} \cdot \rho_{ж.ст.} \quad (1.60)$$

де: а, в – розміри сторін прямокутного перерізу заготовки, м

$V_{ср.}$ - середня швидкість розливання, м/хв

$\rho_{ж.ст.}$ - щільність рідкої сталі (7,0 т/м^3).

Для заготівок перетином 350х250 мм

$$Q_p = 0{,}350 \cdot 0{,}250 \cdot 0{,}8 \cdot 7 = 0{,}5 \text{ м / хв} \quad (1.61)$$

Місткість проміжного ковша становить 10 - 25% від маси рідкого металу у сталерозливному ковші, приймаємо 10%

$$m_{промківша} = 60 \cdot 0{,}1 = 6 \text{ т} \quad (1.62)$$

Час наповнення проміжного ковша

$$\tau_{ппр.ков} = \frac{m_{п.ковш}}{n_{кр} * q_p} = \frac{6}{2*0{,}5} = 6\text{хв.} \quad (1.63)$$

де $n_{кр}$ - число кристалізаторів при заготовках перетином 350х250 мм

Час розливання плавки при розливі заготовок перетином 350х250 мм

$$\tau_{разл.плавк} = \frac{m_{стал.ковша}}{n_{кр} * q_p} = \frac{60}{2*0{,}5} = 60\text{хв.} \quad (1.64)$$

Видача заготівок з МБЛЗ

Час закінчення видачі заготовок із МБЛЗ

$$\tau_{\text{оконч.выдачи}} = \frac{Z_{\text{в.охл}} + Z_{\text{т.к}}}{V_{\text{сз.}}} = \frac{23{,}08+3}{0{,}8} = 32{,}6\text{хв} \quad (1.65)$$

Визначення ритму роботи машини

У цеху 75% всіх плавок будуть розливатись методом «плавка на плавку», а 25% - одиночними плавками.

Тривалість циклу із чотирьох плавок складатиме

$$\tau_4 = \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{п.пр.к.}} + 4 \cdot \tau_{\text{р.пл.}} + \tau_{\text{ок.в.л.}} = 27{,}4 + 6 + 60 \cdot 4 + 32{,}6 = 306 \text{ хв} \quad (1.66)$$

Середня тривалість розливання однієї плавки:

$$\tau_{\text{с}} = \frac{\tau_{\text{п}}}{n} = \frac{306}{4} = 76{,}5\text{хв} \quad (1.67)$$

Тривалість розливання однієї плавки:

$$\tau_{\text{о}} = \tau_{\text{ппп.к}} + \tau_{\text{р.т}} + \tau_{\text{о.в.л}} \quad (1.68)$$

Час середньої тривалості розливання однієї плавки цехом

$$\tau_{\text{ср}} = 27{,}4 + 6 + 60 + 32{,}6 = 126 \text{ хв} \quad (1.69)$$

Розрахунок продуктивності МБЛЗ

Кількість робочих днів на рік

$$\text{А} = 365 - 30 = 335 \text{ днів} \quad (1.70)$$

де 30 днів відводиться ремонт (24 дня на профілактичний ремонт, 6 днів капітальний).

Річна продуктивність МБЛЗ при повному завантаженні

$$E = \frac{335*24*60*60*0,90}{126} = 206742т \quad (1.71)$$

де 0,90 – вихід придатних зливків із рідкого металу;

60 - маса рідкого металу в ковші;

97,5 - середня тривалість розливання однієї плавки;

24 – кількість годин на добу;

60 – кількість хвилин у годинах.

Для забезпечення розливання річного виробництва сталі в 250 тис. т. необхідно МБЛЗ:

$$250000 / 206742 = 1,2 \text{ приймаємо } 2 \quad (1.72)$$

Річна потужність 2 МБЛЗ:

$$206742 \cdot 2 = 413484 \text{ тонн на рік} \quad (1.73)$$

Коефіцієнт використання потужності МБЛЗ:

$$((413484 \cdot 0,9) / 250000) \cdot 100\% = 67,2\% \quad (1.74)$$

1.8 Опис головного будинку цеху та прольотів

Головна будівля електросталеплавильного цеху включає три основні прольоти та декілька допоміжних ділянок. Основні прольоти: шихтовий (1), пічний (2) і розливальний (3).

У пічному прольоті розташовано зону з установкою піч-ківш (УПК) та вакууматором. У розливальному прольоті знаходиться одна вертикальна машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Для аварійного розливу передбачені ділянки розливу у виливниці. До розливального прольоту також прилягають зони термообробки та відвантаження заготовок.

1.8.1 Шихтовий проліт

У шихтовому прольоті цеху виконуються операції з приймання, завантаження та зберігання добового запасу брухту, шлакоутворюючих матеріалів і феросплавів. Тут також відбувається підготовка матеріалів до плавки та їх передача в пічний проліт для завантаження в дугову сталеплавильну піч (ДСП).

Підвезення брухту здійснюється як залізничним транспортом, так і автотранспортом. Шихтові матеріали доставляються на наскрізну залізничну колію, розташовану вздовж шихтового прольоту, де знаходяться ямкові бункери. Магнітний брухт перевантажується в ці бункери глибиною 2–3,5 метра за допомогою мостових магнітних кранів. Немагнітний брухт завантажується за допомогою спеціальних грейферів або самоконтування.

Електроди, що надходять до цеху у напіввагонах або, інколи, автотранспортом, розвантажуються мостовим краном на підлогові стелажі шихтового прольоту. Згодом вони транспортуються на балкон робочого майданчика. У цьому прольоті також розташоване додаткове обладнання: барабанні сушарки, дробарки, бігуни, стелажі для мульд та вагове устаткування. Матеріали з бункерів прольоту завантажуються в цебра, які встановлені на самохідні візки, обладнані ваговими пристроями для точного зважування.

Для здійснення вантажно-розвантажувальних робіт у шихтовому прольоті цеху застосовуються різні види мостових кранів: магнітні, магнітно-грейферні, мульдомагнітні та грейферні.

1.8.2 Пічний проліт

У пічному прольоті розташовано три дугові сталеплавильні печі з електропечними підстанціями та всім необхідним обладнанням для їх експлуатації.

Під робочою площею знаходиться частина електропечної підстанції, склади вогнетривких матеріалів, ремонтні майстерні, тракти підведення та відведення води,

а також магістралі для подачі газоподібного кисню і природного газу, які використовуються у виробничих процесах.

Основними функціями обладнання пічного прольоту є доставка та завантаження металошихти до печей; забезпечення шлакоутворювальними матеріалами та феросплавами; організація подачі вогнетривких матеріалів для обслуговування печей; транспортування електродів і нарощення їх під час використання; видалення шлаку, що утворюється в процесі роботи печей; організація зливу рідкого металу в розливні ковші; а також реалізація капітальних, гарячих та холодних ремонтів устаткування.

Металошихта доставляється з шихтового прольоту в пічний у цебрах, а шлакоутворювальні матеріали й феросплави транспортуються також із шихтового прольоту. Феросплави укладаються у мульди, які розміщуються на стелажах у пічному прольоті. Завантаження сипких матеріалів здійснюють через робоче вікно печі за допомогою стрічкових машин кидкового типу або мульдозавантажувальних пристроїв, таких як кранові чи безрейкові підлогові машини. У разі виходу з ладу зазначеного обладнання використовується уніфікована установка АБ.

Для нарощування електродів застосовуються спеціальні стани, які розташовані поблизу печей. У проектованому цеху пічний проліт призначений для виплавки сталі заданих марок. Тут встановлено електросталеплавильні печі типу ДСП-50. В прольоті також передбачено три мостові ливарні крани вантажопідйомністю 100 тонн кожен, насосну станцію та механічну майстерню, яка має вихід безпосередньо на пічний проліт.

Випуск металу і шлаку здійснюється на розливний проліт у ковш, який утримується розливним краном. Подальше переміщення ковша на візок КПК або до установки для вакуумування металу здійснюється залежно від виробничих потреб.

1.8.3 Розливальний проліт

Проліт МБЛЗ виконує важливу роль у забезпеченні отримання заготовок заданої форми. У ньому встановлені дві машини вертикального типу, які

забезпечують необхідний технологічний процес. У сталеплавильних електрометалургійних цехах, де обсяг виробництва є відносно невеликим, МБЛЗ найчастіше розташовують лінійно в межах головного прольоту будівлі. Такий спосіб розміщення сприяє зниженню капітальних витрат, а також дозволяє раціонально організувати виробничий процес і забезпечити прийнятні умови праці, навіть при порівняно невеликій кількості плавок.

Об'ємно-планувальні рішення та оснащення прольоту мають забезпечувати виконання таких технологічних етапів: транспортування ковшів від печей до установок для коригування хімічних і фізичних характеристик сталі, доставку металу на розливний майданчик, розливання сталі з переміщенням ковша вздовж прольоту до виливниць, а також своєчасне обслуговування та підготовку ковшів.

Крім того, передбачається прибирання шлаку і відходів, доставка матеріалів для ремонту ковшів. Усі ці завдання виконуються завдяки злагодженій роботі рейкового транспорту та мостових кранів.

У проектованому цеху проліт призначений для виконання декількох ключових функцій: випуску сталі з печі, транспортування ковшів до ковшових печей та вакуумного обладнання, а також подачі до МБЛЗ. У прольоті передбачено дві резервні залізничні колії для транспортування виливниць і прийому плавок, що забезпечує додаткову гнучкість у виробничому процесі.

1.8.4 Ділянка термообробки і відвантаження заготовок

Ділянка термообробки призначена для виконання необхідних термічних процесів з товарним металом. Ділянка відвантаження використовується для транспортування товарних заготовок до передільних цехів або на склад готової продукції. Охолоджені заготовки вантажаться за допомогою крана і доставляються залізничним транспортом, а за потреби — автомобільним. У випадку виникнення питань щодо браку, заготовки направляються на переділ (переплавку як маркована шихта).

2 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

2.1 Опис печі

Типова установка ДСП-50 є дуговою сталеплавильною піччю, призначеною для виплавки сталі в агрегаті, що включає наступні компоненти:

- **Корпус печі** складається з днища, кожуха, пісочного затвора, робочого вікна та зливної шкарпетки. Його конструкція розрахована на витримування маси футерування та металу, динамічних ударів шихтових матеріалів під час завантаження, а також теплового розширення й нагрівання кладки в процесі плавки. Корпус виготовляють із зварного листового заліза товщиною 16–18 мм залежно від габаритів печі. Частини корпусу, що розташовані нижче й вище порога робочого вікна, прийнято відносити відповідно до днища та кожуха.

- **Днище** є основою для укладки вогнетривкого футерування подини та укосів, які утворюють ванну для плавлення металу й шлаку. Його нижня частина має сферичну форму. Для забезпечення міцності до кожуха приварюють ребра та кільця жорсткості. До днища й кожуха також кріплять підставку під зливний носок. Товщина листа шкарпетки становить половину товщини листа кожуха.

- **Каркас склепіння** підтримує вогнетривке футерування склепіння та водоохолоджувальні елементи. Охолоджувач повинен мати температуру на вході не нижче 10–15 °С, а на виході — не перевищувати 40–45 °С, що пов'язано з аномаліями у розчинності вапняних включень.

- **Робоче вікно** використовується для обслуговування дугової печі під час підготовки та всього технологічного процесу. Його розмір має дозволяти огляд і заправку подини та укосів, а також введення хобота мульдозавальної машини з шихтою у простір печі.

- **Зливний отвір** забезпечує злив металу та шлаку у розливний ківш. Його виготовляють із листової сталі, футерованої шамотом, а робочу зону викладають магнезитом. Для термінового ремонту після руйнування шкарпеток використовують магнезитову або іноді доломітову крихту.

- **Механізм переміщення електродів** служить для регулювання їхнього положення в робочому просторі печі.

- **Механізм нахилу печі** призначений для плавного нахилу агрегату: на 40–45° у бік зливного жолоба для зливу металу в ківш або на 10–15° у бік робочого вікна для видалення шлаку. Під час нахилу додатково висувається зливний жолоб, що полегшує злив у ківш. Для уникнення прослизання санок передбачено шипування та встановлення обмежувачів нахилу.

- **Електрична схема дугової печі** складається з високовольтної частини (від склепіння до трансформатора), короткої мережі (зокрема трансформатора, струмопідведень, електродів), автоматичного захисту, сигналізації й управління масляними вимикачами, апаратури автоматичного регулювання потужності та допоміжних механізмів. Струм подається до електродів за допомогою електродотримачів, що призначені для вертикального переміщення електродів. Ці тримачі виготовляють із міцних матеріалів для мінімізації втрат електроенергії. Конструкція електродотримача містить корпус, затиск, рукав, каретку або телескопічну стійку та жорстку частину вторинного струмопроводу.

2.2 Опис агрегату ківш - піч

Основні недоліки методів обробки металу в ковші включають:

а) необхідність перегріву розплавленого металу в плавильному обладнанні для компенсації втрат температури під час його обробки в ковші;

б) обмеженість процесів, які можна здійснити з металом (наприклад, лише десульфурація або лише дегазація тощо).

Найкращих результатів щодо покращення якості металу можна досягти завдяки використанню комбінованих або комплексних методів обробки. Однак для реалізації таких технологій потрібне ускладнення конструкції ковша. З часом, у процесі вдосконалення методів вторинної металургії, традиційні сталерозливні ковші поступово замінюються допоміжними металургійними агрегатами.

У цих агрегатах метал очищається від шкідливих домішок та доводиться до необхідного хімічного складу і температури. Після обробки в такому агрегаті сталь, як правило, надходить до стандартного сталерозливного ковша, з якого її розливають у зливки або відправляють на машину безперервного лиття заготовок. У нашому випадку це МБЛЗ вертикального типу.

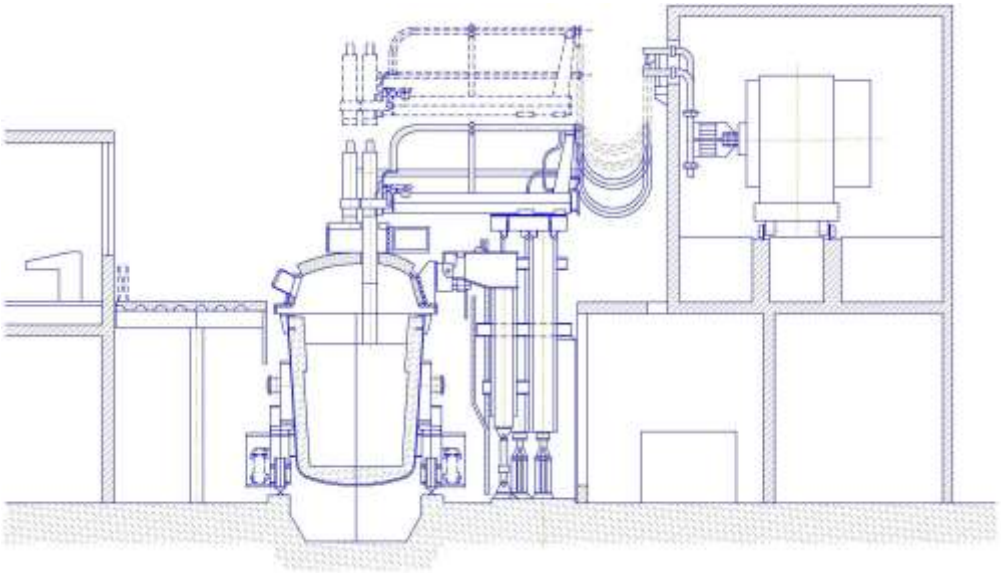


Рисунок 2.1 – Модифікована установка позапічної обробки,
ASEA – SKF-процес на заводі «Firth Brown» (США)

Прикладом такого способу є ASEA-SKF-процес, що виник у Швеції. Установка перевозиться на візку і являє собою вакуумний ківш с змінними склепіннями, донну ковшеву пробку, розташовану зовні ковша.

Тривале перемішування металу під високоосновними шлаками та під вакуумом на установках вакуумування дозволяє отримувати метал з дуже низькими концентраціями сірки та газів НМВ. Використання високоактивних основних шлаків пред'являє особливі вимоги до вогнетривких матеріалів.

2.3 Опис вакууматора

Використання вакууму для виплавки, очищення та обробки сталі і сплавів пояснюється тим, що у вакуумному середовищі значно зменшується або повністю виключається взаємодія металу з газами, які за звичайних умов можуть поглинатися

сталлю. Окрім того, при зниженні тиску над металом відбувається видалення газів, що вже містяться в сталі, а також кольорових металевих домішок і неметалевих включень.

Завдяки вакуумній виплавці або обробці металу поза плавильним агрегатом вдається отримати сталь, яка відповідає найвищим стандартам сучасної техніки. Зокрема, саме обробка у вакуумі зробила можливим ефективне усунення шкідливих металевих і неметалевих домішок зі сталі.

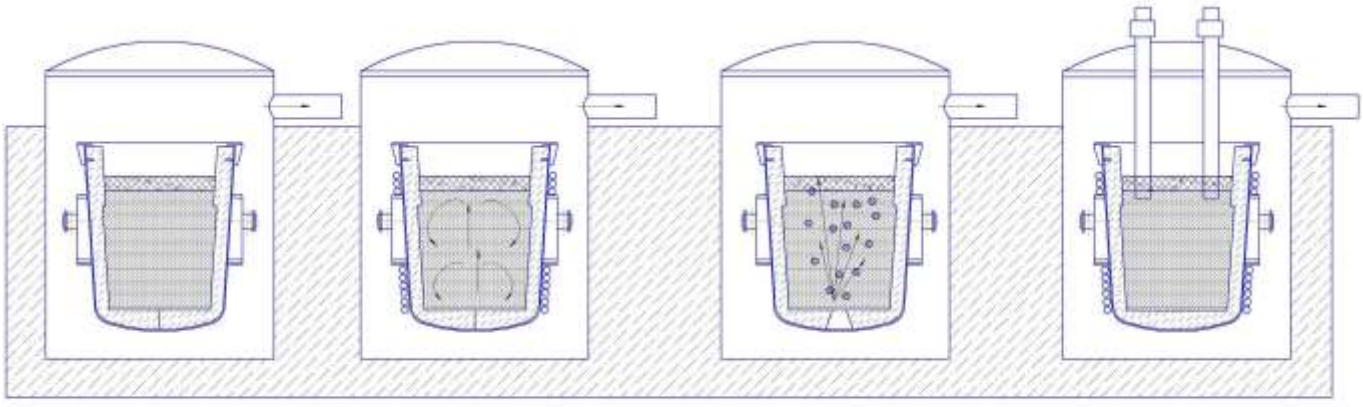
У процесі вакуумування також здійснюється саморозкислення сталі з одночасним зменшенням вмісту вуглецю та кисню, що дозволяє отримати матеріал із точно заданим хімічним складом.

Метод позапічного вакуумування відзначається високою ефективністю, широкими можливостями застосування та відносною технологічною простотою. Попри те, що використання цього підходу розпочалося відносно недавно, воно набуло значного поширення у багатьох країнах світу.

Сьогодні існують такі способи вакуумування сталі:

- у сталерозливному ковші (ковшеве);
- струминне;
- порційне;
- циркуляційне.

Ковшеве вакуумування полягає у встановленні сталерозливного ковша з металом всередині герметично закритої вакуумної камери, де створюється розряджений тиск. Проте цей метод має певні недоліки, серед яких порівняно невисока ефективність і значні теплові втрати.



А- з витримкою ковша з металом у вакуумній камері; Б – з електромагнітним перемішуванням металу; В - з продуванням газами; Г - вакуумування методом ASEA-SKEAT

Рисунок 2.2 - Схематичне зображення різних варіантів вакуумування металу в ковші

Для підвищення ефективності процесу здійснюється перемішування металу шляхом подачі інертного газу через пористу вогнетривку пробку, встановлену в днищі ковша.

Опис конструкції вакууматора

Кришка вакуумної камери встановлена на шарнірному механізмі та відкривається за допомогою електричної лебідки. Герметичність між корпусом камери та кришкою забезпечується щільною гумовою прокладкою, яка розташована у водоохолоджуваному кільцевому пазі вздовж верхнього краю камери. На верхній частині напівсферичної кришки передбачено вікно для спостереження.

Ківш зі сталлю після випуску з печі розміщують у очищеній та висушеній камері, після чого камеру герметично закривають і починають відкачування повітря.

Тривалість процесу вакуумування залежить від температури охолоджуваного металу, зносостійкості вогнетривких стопорних трубок (якщо застосовуються) і продуктивності обладнання для відкачування. Перегрів металу в печі з урахуванням теплових втрат під час вакуумування допускається, оскільки це може

супроводжуватися збільшенням часу плавки, підвищенням вмісту газів у металі та руйнуванням футеровки печі.

Доцільним є встановлення потужних насосів, що дозволяє скоротити час зниження тиску з атмосферного до кількох міліметрів ртутного стовпа. Відкачування газів із камери здійснюється через трубопровід великого діаметра. Між камерою та насосами встановлюють холодильники для охолодження газів і масляні фільтри грубого очищення.

Ефективність вакуумної обробки сталі підвищується, якщо часткове розкиснення марганцем і вуглецем виконувати в печі, а кремній та алюміній додавати безпосередньо у ківш у другій половині витримки під вакуумом.

2.4 Опис МБЛЗ

Спосіб безперервного розливання сталі полягає в заливанні рідкої сталі в наскрізну, інтенсивно охолоджувану форму — кристалізатор. Частково затверділе тіло злитка, початково підтримуване затравкою як псевдо дном, безперервно витягується через кристалізатор і додатково охолоджується в зоні вторинного охолодження.

У такому процесі відбувається як безперервна заливка металу, так і його твердіння, що створює монолітний злиток. Згодом цей злиток розрізають на заготовки заданої довжини. Контури і розміри поперечного перерізу злитка визначаються параметрами кристалізатора та зазвичай є меншими за ті, що отримуються при традиційному методі заливання у виливниці.

Цей метод має чималі переваги порівняно зі звичайним литтям у виливниці. У злитків, відлитих у виливниці, у верхній частині утворюється зона збагачення лікватами разом із садибною раковиною або газовою порожниною. Через це при прокатці обрізання головної частини злитка призводить до значних втрат виходу придатного матеріалу. Натомість при безперервному литті садибна раковина або газова порожнина формується тільки одна на всю масу розливаного металу.

Завдяки цьому втрати матеріалу суттєво скорочуються, а вихід придатного прокату збільшується в межах 6–12%. Зменшені поперечні розміри зливка та швидка кристалізація сталі також обмежують утворення ліквації. В умовах роботи машин безперервного лиття (МБЛЗ) злиток твердне більш стабільно, а у випадках відсутності таких деформацій, як вигин, його структура та хімічна однорідність є на високому рівні.

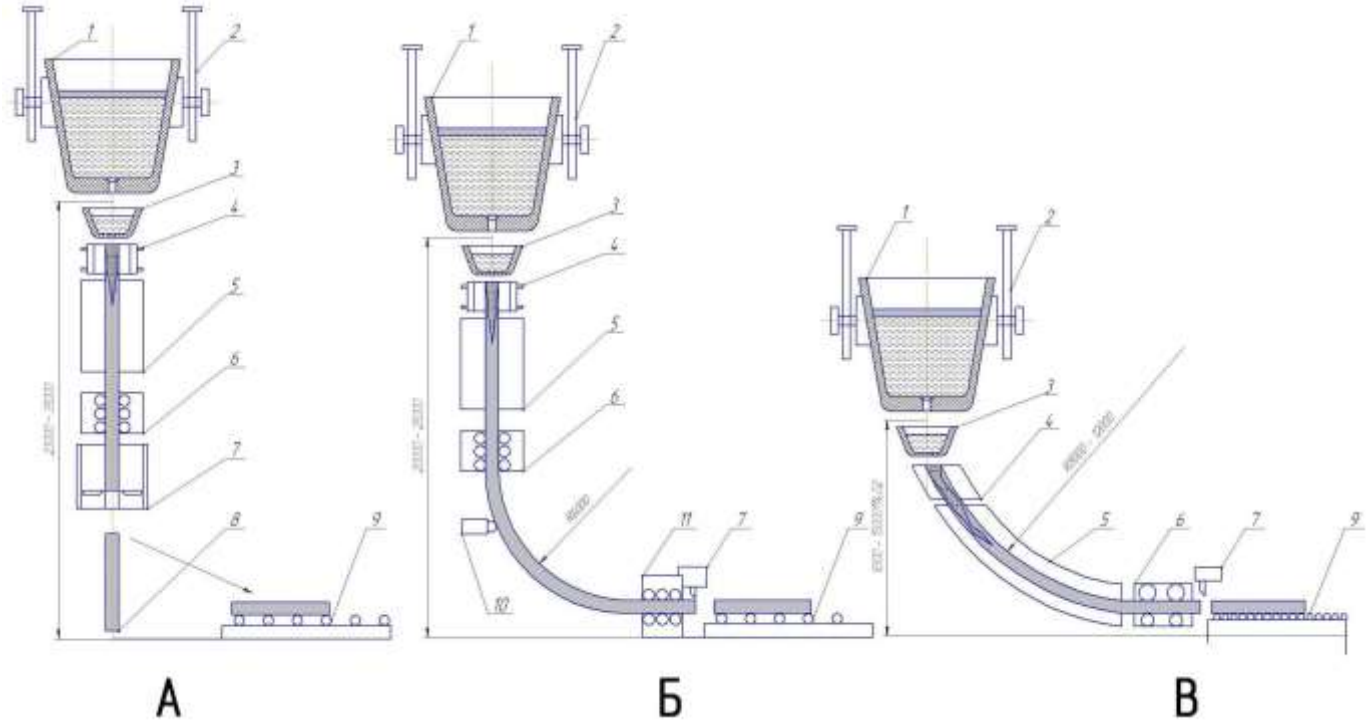
Такі злитки можна одразу використовувати для прокатки на листових чи сортових станах. Застосування безперервного лиття сталі усуває потребу в ряді виробничих операцій, таких як підготовка розливного складу, стриперування злитків або прокатка на обтискних станах. Це сприяє скороченню капітальних витрат, зменшенню тривалості виробничого процесу та відкриває широкі можливості для механізації й автоматизації виробництва. Також значно підвищується продуктивність і покращуються умови праці.

Серед типів МБЛЗ виділяють вертикальні машини, машини з вигином заготовки, конструкції з криволінійною технологічною віссю (радіальні) та горизонтальні установки. Найпоширенішими є радіальні машини: вони забезпечують збереження кривизни зливка до моменту його повного затвердіння в межах форми кристалізатора. Вихід затверділого торця відбувається через вирівнювальний пристрій під час переведення заготовки в горизонтальне положення. Після цього злиток може бути розрізаний на заготовки будь-якої довжини. Не меншу популярність мають вертикальні МБЛЗ. Такі установки мінімізують розливний шлюб, до якого належить утворення осьових, поздовжніх чи поперечних тріщин, заворотів тощо.

Конструкція вертикальної МБЛЗ включає такі елементи: сталерозливний стенд, візок для проміжного ковша з круговим рухом, кристалізатор із функцією гойдання, привідну роликову проводку (верхня і нижня секції), прямолінійну ділянку роликової проводки, пружинно-гвинтовий механізм і горизонтальну роликову секцію.

Особливістю цієї МБЛЗ є поворотний сталерозливний стенд із коливальним рухом несучої рами для регулювання підйому та опускання ковшів; застосування

візка для проміжного ковша з круговим рухом; інтеграція кристалізатора та першої секції приводної проводки в єдиний блок.



А- МБЛЗ вертикального типу; Б - криволінійна МБЛЗ; В – радіальна МБЛЗ; 1 – ківш із металом; 2 – траверса; 3 – проміжний ківш; 4 – кристалізатор; 5 – зона вторинного охолодження; 6 – правильна кліть; 7 – ножиці; 8 – заготівля; 9 – рольганг; 10 – правильні ролики; 11 – прокатний модуль

Рисунок 2.3 – Порівняльна характеристика МБЛЗ

Для уникнення утворення осьової пористості в процесі лиття на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) та для розширення сортаменту металів, що розливаються, пропонується встановлення в зоні вторинного охолодження автономних тягнучо-прокатних роликів (валків). Ці валки забезпечують можливість додаткового обтискання заготовки, що сприяє усуненню осьової пористості. Кожен обтискний валик буде оснащений приймачем та випромінювачем короткоіснуючих ізотопів, які підключені до автоматизованої системи управління (АСУ). Вона контролюватиме зміну зусилля притискного механізму та швидкість обертання прокатного валка.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Огляд існуючих способів виробництва штампової сталі, обґрунтування прийнятого способу виплавки і область застосування

Сталь марки 15Х5ВФ, згідно з чинною класифікацією, належить до інструментальних середньолегованих сталей і зазвичай використовується для виготовлення штампів для гарячого пресування.

Її робоча температура становить до 200–250°С. Після термічної обробки (загартування) твердість сталі досягає 59–60 HRC, що є високим показником, особливо при роботі з тонкостінними деталями методом пресування.

Окрім цього, дана марка сталі демонструє високу прокаліть і має хороші експлуатаційні характеристики як матеріал для ріжучих інструментів у деревообробній промисловості. Завдяки вмісту таких компонентів, як вольфрам, ванадій і хром, її застосування розширилося й на нафтопереробну галузь. Зокрема, сталь успішно використовується для виготовлення труб, засувок і вентилів, які функціонують у процесах крекінгу.

Однак цей матеріал має і недоліки. Головним із них є підвищена карбідна неоднорідність, що може негативно впливати на його властивості.

Таблиця 2.1 – Карбідна неоднорідність сталей 15Х5Ф та 15Х5ВФ

№ п/п	Діаметр прокату в мм	Допустимий карбідний бал
1	> 40	3
2	40 - 60	4
3	60 - 80	5
4	80 - 100	6

Штампову сталь зазвичай постачають у формі прутків круглого, квадратного або прямокутного перерізу, а також у вигляді окремих поковок.

До цієї сталі пред’являються підвищені вимоги щодо мінімізації шкідливих домішок, газів, неметалевих включень, забезпечення однорідної структури й механічних властивостей по перетину, а також щодо якості поверхні. Під час виплавки, розливання, деформації й подальшої термічної обробки застосовуються спеціальні технологічні заходи для отримання металу необхідної якості.

Процес виплавки штампової сталі, як правило, здійснюється в основних дугових електропечах ємністю від 5 до 50 тонн. Це дозволяє створити оптимальні умови для повного розкислення металу й видалення включень, а також досягти високого рівня чистоти за вмістом сірки і фосфору. Застосовуються два основні варіанти технології плавки в дуговій печі: плавка на «свіжій» вуглецевій шихті та на шихті з легованих відходів шляхом часткового або повного переплаву.

Під час плавки з використанням вуглецевої шихти в піч додають руду або вводять газоподібний кисень для окислення таких елементів, як кремній, марганець, фосфор і надлишковий вуглець, який також частково виконує роль енергоносія. Це дозволяє знизити витрати енергоносіїв і забезпечує тривале енергоємне кипіння металу з інтенсивним процесом барбатажу неметалевих включень.

Особливістю технології плавки на свіжій шихті є використання подвійного шлакового покриття та довготривалий відновлювальний період із обов'язковим етапом дифузійного розкислення металу. Сам процес складається з кількох основних етапів: підготовка печі, завантаження шихти, її плавлення, дефосфорація, кипіння та підігрів металу, завантаження первинного шлаку, навуглерожування, розкислення, десульфурація, коригування хімічного складу та випуск готового металу. Деякі з цих етапів можуть виконуватися одночасно.

Плавка на шихті з легованих відходів здійснюється методом переплаву без звичайного окисного періоду для максимального збереження легувальних компонентів. У випадку такого переплаву утруднюється видалення фосфору, що слід враховувати при доборі сировини для шихти. Частка легованих відходів у такій шихті може досягати 80–85%. Рафінування проводиться під карбідним або білим шлаком, який часто не скачують і розкислюють порошком коксу або феросиліцію.

Також можливе часткове окислення під час плавки відповідно до заданих технологічних умов.

У процесі обробки металу після розплавлення шихти використовується продування ванни газоподібним киснем для часткового окиснення. Після цього етапу відбувається період відновлення плавки, протягом якого з печі видаляється окисний шлак. Перед зливом металу до ковша додають шматковий алюміній у кількості 0,3-0,5 кг/т для процесу розкислення. Метал розливають або сифоном, або зверху в квадратні, круглі чи прямокутні форми для виливків масою від 0,5 до 3,5 тонн. У разі великих поковок використовують восьмигранні форми для масивів від 5 тонн.

Виливання під рідким шлаком, створеним спаленням екзотермічних сумішей у формах, значно покращує поверхню злитків, тоді як розливання на машинах безперервного лиття (МБЛЗ) може призвести до утворення осьової пористості, яку не завжди можна усунути навіть під час ковки. Використання МБЛЗ є оптимальним за наявності подальших стадій переплаву. Температура металу в ковші після зливу має бути достатньо високою для якісного розливання і зазвичай перевищує температуру ліквідуса на 50–100 °C.

Для більш якісного очищення металу від шкідливих домішок та неметалевих включень застосовуються спеціальні методи плавки: вакуумно-індукційна (ВІП), вакуумно-дугова (ВДП), електрошлакова (ЕШП), електроннопроменева (ЕЛП), плазмово-дугова (ПДП). Дослідження показують, що вміст кисню знижується після ЕЛП у 7-8 разів, ЕШП — у 2-3 рази, а ПДП — у 1,5-2 рази. Зменшення загального вмісту неметалевих включень та їх дисперсність є значущими перевагами переплавленого металу.

Особливості кристалізації при ЕШП сприяють майже однорідній щільності металу по всій висоті та поперечному перерізу злитка та зменшують ліквацийні явища. Це особливо важливо для сталі холодного деформування, що підвищує доцільність використання ЕШП для сортового металу великих перерізів. Крім цього, спостерігається значне підвищення міцності й опору втомному руйнуванню. Таким чином, застосування електрошлакового переплаву для штампової сталі холодного

деформування підвищує пластичність та в'язкість (конструктивну міцність), опір втомі та ізотропність механічних властивостей, що зрештою покращує надійність і тривалість використання штампів.

Використання металу ЕШП є особливо доречним для великих та складно нагружених інструментів, які схильні до втомно-тендітного руйнування. Ще одним перспективним напрямком є виготовлення важконавантажених штампових інструментів з порошкових сталей.

Останніми роками інтенсивно розвивається нова технологія виробництва порошкових сталей шляхом грануляції розпиленням рідких металевих сплавів і подальшого пресування гідро- та ізостатами. Основною перевагою таких матеріалів є однорідність структури, висока дисперсність і рівномірний розподіл карбідних фаз. Це забезпечує покращені міцнісні та зносостійкі властивості порошкових сталей. З технологічної точки зору, такі штампові сталі характеризуються значною пластичністю при високих температурах і можливістю легкого шліфування, наприклад, сталі марки 15Х5ВФ.

У представленій роботі розглядається технологічний процес виплавки сталі марки 15Х5ВФ, яка здійснюється на базі вуглецевої шихти відповідно до встановлених технічних вимог.

У процесі виробництва електросталі використовуються такі компоненти, як сталевий брухт, чавун (у кількості трохи більше 10%), окислювачі, шлакоутворювальні матеріали, легуючі елементи і розкислювачі. Плавка проводиться в електропечі з основним футеруванням, при цьому передбачається застосування методів окислення.

Основною метою даного технологічного процесу є видалення фосфору, сірки, газів, неметалевих включень із металу та отримання сталі заданого хімічного складу. Використання основного футерування електропечі істотно сприяє більш ефективному видаленню сірки.

Завалка складається із сталевого брухту та чавуну, причому враховується високий рівень вмісту фосфору у чавуні (близько 0,25%), що обмежує його кількість до трохи більше 10%. Плавка проводиться за класичною технологією, яка умовно

поділяється на два етапи: окислювальний і відновлювальний. У ході окислювального періоду здійснюється видалення марганцю, кремнію, фосфору та надлишкового вуглецю. Як окислювач застосовується газоподібний кисень. Для формування шлаку використовуються такі матеріали, як вапно, залізняк і магнезит. Встановлюється оптимальний склад шлаку для окислювального періоду, який має містити: CaO – 44%, FeO – 15%, SiO_2 – 10%. Такий склад забезпечує найбільш ефективне зниження концентрації фосфору у сталі. Додатково допускається використання фторидів і хлоридів лужноземельних металів в оптимальних кількостях, де їх сумарний вміст не перевищує 5%.

У традиційній технології сталеплавильного виробництва питання досягнення низького рівня вмісту сірки зазвичай вирішуються протягом відновлювального періоду та на стадії випуску металу. Однак процес десульфурації у ході окисного періоду часто залишається поза фокусом уваги. Попри це, використання основних шлаків для дефосфорації металу зумовлює перенесення близько 25% усієї сірки, що входила до складу шихти, з металу в шлак саме в окисному періоді.

Хімічний склад готового металу має відповідати наступним параметрам: до 0,15% вуглецю, 0,3–0,6% кремнію, 0,5% марганцю, 6,0% хрому, 0,4–0,6% ванадію та 0,4–0,7% вольфраму. Водночас наприкінці окисного періоду метал не містить кремнію, а концентрація марганцю становить лише 0,25%. Це створює необхідність у додаванні феросплавів та коксу під час відновлювального періоду плавлення. Зазначені матеріали одночасно виконують функцію розкислювачів.

Для виплавки сталі марки 15Х5ВФ використовуються такі феросплави: ФМн80, ФХ70, ФВд35 тощо. Суттєва увага у відновлювальний період приділяється процесу видалення сірки. Оскільки сірка може потрапляти до металу разом із шлакоутворюючими матеріалами та феросплавами, необхідно докласти зусиль для мінімізації її надходження з цих джерел.

Як шлакоутворюючі в цьому періоді активно застосовуються вапно, плавиковий шпат і шамотний бій. Оптимальним хімічним складом шлаку відновлювального періоду, що сприяє ефективному видаленню сірки, є: 55% CaO, 15% CaF_2, 20% SiO_2, 5% Al_2O_3 і 0,5% FeO.

Оцінка роботи електропечі базується на показниках річної продуктивності та собівартості отриманої сталі. Собівартість обчислюється на основі витрат металевої шихти (зокрема феросплавів) на одну тонну придатного товарного металу та вартості передільних робіт.

Зважаючи на те, що Україна здебільшого імпортує феросплави, вартість яких останнім часом суттєво зросла, собівартість сталі також має тенденцію до збільшення. У цьому контексті ключовим фактором економічної ефективності виробництва стає повернення до обробки легованих відходів.

3.2 Технологія виплавки інструментальної сталі марки 15Х5ВФ

3.2.1 Підготовка шихтових матеріалів і завалка шихти

Сталевий брухт та відходи сталеплавильних і передільних цехів повинні відповідати нормативам, встановленим державним стандартом «Метали чорні вторинні» і внутрішніми заводськими інструкціями з класифікації відходів.

Розміри шматків шихтового матеріалу допускається перевищувати 2 м для металургійних печей з ємністю (масою плавки) у межах 30-60 тонн. При переплавці великогабаритних елементів шихти, маса яких не перевищує 20% загальної маси матеріалу, що завантажується в піч, необхідно дотримуватися наступних вимог:

1. Великогабаритні шматки брухту, злитки та недоливки повинні складатися на подину за допомогою кліщів, тросів чи інших засобів, дозволених правилами техніки безпеки, під безпосереднім наглядом старшого майстра або начальника зміни.

2. Під кожним електродом повинні бути розміщені елементи шихти (брухт, злитки чи недоливки), однорідні за висотою.

3. У разі переплавки злитків масою не більше 15 тонн дрібногабаритна частина шихтового матеріалу розподіляється на подині так, щоб забезпечити рівномірне навантаження щонайменше на дві фази. Під третю фазу обов’язково укладається злиток масою 2-3 тонни.

4. Допускається переплавка двох листових зливків (недоливків) одночасно, за умови, що їх маса не перевищує 15 тонн кожен. Листові зливки розташовуються поруч на подині.

5. У випадку переплавки крупногабаритного металобрухту та великих зливків решта шихти повинна мати дрібногабаритний склад для рівномірного завантаження поверх крупних елементів.

6. Частка великогабаритного матеріалу (брухту, зливків чи недоливків), загальна маса якого перевищує 15% від ваги плавки, не повинна перевищувати 50% загальної шихтової маси у печі.

Процес виплавки сталі із застосуванням великогабаритної шихти потребує посиленого контролю з боку сталевара та майстра, особливо за показниками обладнання та рухом електродів. Використання великогабаритної шихти дозволяється виключно за погодженням головного сталеплавильника.

Не допускається використання забрудненої шихти, особливо тієї, яка містить кольорові метали, литники із залишками вогнетривких матеріалів, немарковані злитки, недоливки, поковки чи брухт без супровідної документації. Також слід уникати використання шихтового матеріалу зі шкідливими домішками, які не можуть бути вилучені у процесі виплавки сталі і перевищують допустимий рівень для відповідної марки сталі, враховуючи домішки, внесені феросплавами.

При підготовці сировини до завантаження у дугову піч послідовність укладання матеріалу в баддю повинна бути наступною: на дно завантажується дрібний і легкий брухт, потім середній і великий лом, а зверху — знову дрібний і легкий лом. Частка стружки в складі шихти для дугової плавильної печі не може перевищувати 30%. У процесі виплавки сталі в шихтову баддю або піч додається вапно у кількості 15 кг на тонну матеріалу. Забороняється завантажувати вапно на подину печі за допомогою мульд чи кидкових машин. Допускається внесення вапна на подину та укоси печі вручну лопатами у вигляді розсипу в кількості не більше 5 кг.

Бій електродів, графітова крупка та порошок, а також кусковий кокс вносяться до складу завалки або підвалки шихти в баддю або безпосередньо в піч.

Бій електродів використовується у фрагментах розмірами не більш ніж 500×300 мм. Заборонено включати до складу підвалки в баддю такі матеріали, як сляби, зливки, недоливки чи скрап масою понад 1,5 тонни.

Передільний чавун має відповідати вимогам стандарту ГОСТ 805-80 або його актуальному замінніку.

Маса шихти, яка завалюється у піч, повинна забезпечувати таке положення розплаву, щоб рівень шлаку під час рафінування сталі не перевищував основи випускного отвору при стандартному стані печі.

Перед завалкою шихти в піч здійснюється розрахунок вмісту необхідних легуючих елементів, вуглецю, а також потенційно шкідливих домішок. Результати цього розрахунку фіксуються у плавильній карті.

Феросплави, що вводяться до розплаву, повинні бути попередньо прожарені до стадії почервоніння. Вапно, яке додається в піч, застосовується у вигляді кусків та повинно бути свіжого випалу (не більше 24 годин після вилучення з печі), без ознак гасіння або утворення вогнепальної маси.

Для формування шлаку використовуються такі матеріали: вапно, бій шамота, шлаки силікомарганцевого виробництва, карбід кальцію, відходи абразивного виробництва й відпрацьовані вапняно-глиноземні синтетичні шлаки.

У період плавки для розрідження шлаку застосовують плавиковий шпат, рідше — флюоритовий концентрат, бій шамота або кварцит. Вміст вологи в шлакоутворювальних матеріалах не повинен перевищувати 1,5%, а максимальний розмір шматків — не більше 150 мм. Перед внесенням шлакоутворювальних матеріалів у піч або розливний ківш вони повинні бути ретельно виміряні за допомогою тарованих мірок, контейнерів, мульд або дозаторів кидкових машин.

Технічний кисень необхідно подавати під тиском 1,2 МПа через киснепроводи, які повинні бути оснащені вологовідстійниками, манометрами, лічильниками витрати кисню, приладами для автоматичного запису витрат кисню та компенсаторними відстійниками для відведення конденсату. Дерев'яні гребки для зняття шлаку необхідно просушувати поблизу прокатних або сушильних печей протягом щонайменше 30 хвилин.

3.2.2 Контроль стану печі

Після завершення випуску плавки піч нахиляється у бік шлаку, і стан печі оглядається сталеваром разом із майстром. У разі виявлення рідкого металу на подині оперативно здійснюється заправлення заднього укосу, після чого виконується повторне зливання. Піч залишається у похилому положенні до моменту затвердіння металу.

В інших ситуаціях після випуску плавки подина та укоси ретельно очищаються від решток металу й шлаку за допомогою залізних і дерев'яних гребків, а потім продуваються киснем.

Для полегшення процесу видалення залишків застосовуються кисень, гребки та додається магнезитовий порошок. Для заправки печі використовуються такі матеріали: магнезитовий (періклазовий) порошок ППЕ-88, ППЕК-87 згідно з ГОСТ24862-81; доломітовий порошок марок ДІМ-5,6,7,8 відповідно до ОСТ1485-82 (заборонено застосовувати доломітовий порошок з фракцією понад 5 мм); подрібнена магнезитова цегла фракцією до 20 мм («горішок»); подрібнена хромітоперіклазова цегла фракцією до 20 мм; магнезитовий порошок з домішкою рідкого скла; хромітовий порошок марки ПХ за ТУ14-8-261-78; пек.

Перед введенням у піч усі заправні матеріали попередньо відмірюються з використанням спеціальних мульд. Якщо на подині присутні глибокі ями, після очищення від залишків металу й шлаку ці ділянки заправляються магнезитовим порошком або сумішшю магнезитового порошку й подрібненої магнезитової цегли в співвідношенні 2:1. При значній глибині подини та наявності численних ям здійснюється посилена заправка.

Після цього ушкоджені ділянки покриваються вапном. У таких випадках рекомендується виконувати плавлення сталі з тривалістю рафінування не більше однієї години і температурою нагрівання 1600°С у період рафінування. Заправка подини й укосів печі проводиться без викочування її з-під склепіння (без обертання склепіння), за винятком ситуацій, коли заправка здійснюється із залученням заправної машини. За значних пошкоджень укосів використовують суміш

магнезитового порошку й рідкого скла. Ця процедура виконується за 10 хвилин до завантаження шихти в піч, причому вона здійснюється за умови охолодженої футеровки.

У разі наявності «заростої» подини та укосів використовуються залізна руда та кварцовий пісок, які вводяться в піч перед завантаженням шихти.

Розмір випускного отвору має бути не меншим за 250×250 мм. За його закриття відповідає доломітовий порошок. Після завершення роботи отвір та жолоб очищаються від залишків металу і шлаку, а за потреби виконується їх ремонт. Поверхня порогу робочого вікна заповнюється доломітовим порошком на початку плавлення шихтових матеріалів. Пісочний затвор має забезпечувати щільне прилягання до склепіння.

Важливу роль у забезпеченні герметизації печі відіграє стан склепіння, заслінок робочого вікна та економайзерів. Струмопровідні елементи печі, її склепіння і каркас мають обдуватися стисненим повітрям принаймні один раз на дві доби. Після виконання заправки подини та укосів і перед початком завантаження шихти піч обов’язково оглядається старшим майстром плавильного виробництва.

Перед пуском печі здійснюється ретельна перевірка працездатності системи водяного охолодження, кисневої фурми, каналу для відведення газів, установки електромагнітного перемішування, механічного й електричного обладнання, а також стану лічильників споживання електроенергії та кисню.

Піч повинна бути оснащена ватметрами, фурмами для кисневого продування розплаву, манометрами, пристроями для вимірювання витрати електроенергії та засобами контролю температури.

Після проведення капітального ремонту подини проводиться виплавка однієї плавки чавуну. Далі здійснюється виплавка чотирьох плавок сталі з підтриманням температури 1600 °С у період рафінування, тривалість якого становить 50 хвилин. Використання технічного кисню під час перших чотирьох плавок сталі категорично заборонено.

3.2.3 Вимоги до шихти

Шихта складається, відповідно до розрахункових даних, з вуглецевого сталевого брухту (90%) та чавуну (10%). Вуглецевий брухт, призначений для використання в електричних печах, повинен бути чистим від домішок нікелю, міді та миш'яку. Вміст фосфору не має перевищувати 0,03% (відповідно до ГОСТ 5950–73). Збільшення частки чавуну в шихті понад 10% є недоцільним через високий рівень фосфору в ньому (0,25% і більше).

3.2.4 Період плавлення

Плавлення шихти здійснюється за поетапним електричним режимом. Спочатку, протягом перших 8–10 хвилин, процес ведеться на нижніх ступенях напруги (другий або третій ступінь), поки дуги не опустяться в колодязі.

Далі режим перемикається на перший, найвищий ступінь напруги на 1 годину, після чого знову застосовується другий ступінь напруги приблизно на 30 хвилин, і цей етап повторюється вдруге за аналогічний час.

Графік оптимального навантаження трансформатора наведено на рисунку 2.1. Під час плавлення шихти повинні окислюватися кремній і основна частина фосфору. З цією метою у піч вводиться залізняк.

На завершальному етапі плавлення допускається використання кисню. Після розплавлення шихти проводиться відбір проби металу для хімічного аналізу. Далі відбувається зливання шлаку, після чого додається вапно в кількості 24,5 кг на тонну сталі.

3.2.5 Окислювальний період плавки

Окислювальний процес розплаву розпочинається при досягненні температури 1350°C та здійснюється за допомогою подачі технічного кисню, залізної руди або комбінації обох вказаних компонентів.

Уведення кисню, руди та вапна повинно проводитися в такій кількості, яка забезпечує рівномірне й інтенсивне кипіння металевої ванни без ризику викиду металу та шлаку. Для цього потужність трансформатора, що підводиться, має бути достатньою для підвищення температури розплаву.

До моменту видалення окислювального шлаку метал необхідно прогріти на 15°С вище від температури сталі перед її випуском із плавильної печі. В період кипіння шлак має бути пінистим, збереженням рідкої консистенції та забезпечувати самоплив через поріг робочого вікна печі. Концентрація фосфору в кінцевій стадії окислювального процесу не повинна перевищувати допустимий рівень для відповідної марки сталі (0,03%).

Після подачі завершальної порції залізної руди розплав витримують на протязі 10 хвилин до початку видалення окислювального шлаку. Після продування киснем додатково проводять витримку тривалістю 3 хвилини, виконують замір температури розплаву та відбирають пробу для хімічного аналізу. Лише після цього окислювальний шлак видаляється до моменту утворення видимого металевого дзеркала за гребком.

Упродовж усього окислювального періоду плавки зразки металу для хімічного аналізу повинні відбиратися щонайменше двічі. Загальна тривалість даного етапу, виключаючи час завантаження шлаку, становить приблизно 40 хвилин.

3.2.6 Рафінування

Після завантаження окислювального шлаку розплав, у разі необхідності, піддається навуглецюванню за допомогою електродної крупки, графіту або коксу. У процесі рафінування поступово вводяться легуючі добавки: спершу феромарганець, далі ферохром, і потім феровanадій (марок ФВд35 та ФВ70).

Після внесення добавок додається рафінувальний шлак, який складається з шпату, шамоту та вапна. Під час плавлення шлакоутворювальної суміші допускається введення порошку коксу у пропорції 1,5 кг на тонну сталі.

Після розплавлення шлакоутворювальної суміші розплав перемішується за допомогою установки електромагнітного перемішування (ЕМП) протягом 10 хвилин або вручну металевими гребками протягом 5 хвилин. Коли температура розплаву перевищує температуру випуску сталі на 15°С, відбирається проба металу для хімічного аналізу.

Перед введенням кожної розкислювальної суміші шлак ретельно перемішують дерев'яним гребком. Для забезпечення відновлювальної атмосфери в печі рекомендовано додавати до складу розкислювальних сумішей порошок коксу у пропорції 1,5 кг на тонну сталі. Остання розкислювальна суміш, що складається з порошку алюмінію (0,5 кг на тонну сталі) та шпату (флюориту, 2,78 кг на тонну сталі), вводиться за три хвилини до початку випуску сталі. У процесі рафінування проводиться відбір щонайменше трьох проб металу для хімічного аналізу. Період рафінування розпочинається із моменту початку навуглецювання або осадового розкислення після внесення розкислювального шлаку. Тривалість цього етапу для сталі в печі має становити 60 хвилин.

Крім того, сталь може зазнавати додаткової позапічної обробки, яка включає такі процедури: вакуумування, продування аргоном, переливання з ковша в ківш, обробку синтетичним шлаком, введення порошків у струмені аргону або їх обробку у твердому стані в струмені аргону та інші технологічні операції. Температура металу в ковші після завершення випуску має становити 1575±15°С.

3.2.7 Перемішування шлаку, металу і відбір проб

Перемішування розплаву здійснюється для прискорення процесу плавлення добавок феросплавів, вирівнювання хімічного складу та температури, а також для пришвидшення розкислення металу й шлаку.

Для цього застосовуються установки електромагнітного перемішування (ЕМП) або металеві гребки. Перемішування самого шлаку виконується за допомогою дерев'яних або металевих гребків.

Перед відбором контрольних проб металу для хімічного аналізу, а також перед вимірюванням температури, перемішування розплаву є обов’язковим етапом. При цьому установка ЕМП активується на 10 хвилин, або ж розплав перемішується протягом 5 хвилин ошлакованими металевими гребками.

Для відбору проб металу на хімічний аналіз та візуальну оцінку (визначення вмісту кремнію, марганцю, наявності усадки при затвердінні або вимірювання температури) використовуються ошлаковані ложки. У пробах металу після плавлення шихти перевіряється вміст елементів, передбачених маркою сталі (15Х5ВФ).

Наприкінці окисного періоду проводиться визначення вмісту вуглецю, фосфору, марганцю, хрому та вольфраму. У процесі рафінування після формування та розкислення рафінувального шлаку, а також перемішування розкисленого металу, здійснюється відбір контрольних проб. В цих пробах визначають вміст вуглецю, кремнію, сірки й легуючих елементів.

На основі результатів аналізу контрольних проб хімічний склад сталі остаточно коригується шляхом внесення відповідних добавок феросплавів.

3.2.8 Порядок введення феросплавів у шихту і в розплав

Плавильний майстер повинен володіти знаннями щодо хімічного складу всіх феросплавів (лігатур), які використовуються під час виплавлення сталі. Зокрема, феромарганець та металевий марганець для легування вводяться до печі в період рафінування у розкислений розплав.

При виплавленні сталей із застосуванням окиснювальних методик ферохром додається до розкисленого розплаву на початковому етапі рафінування. Якщо необхідно скоригувати вміст хрому, це дозволяється за 15 хвилин до завершення процесу плавлення, у випадку, якщо його концентрація у розплаві перевищує 0,5%.

Феррованадій і феровольфрам вносяться у розкислений метал безпосередньо у ківш. При виробництві інструментальної сталі допускається додавання у завалку окалини та продуктів абразивної обробки.

Через 15 хвилин після введення охолоджувальних металодобавок і перемішування шлаку дерев’яними гребками та металу – металевими гребками чи з використанням електромагнітної установки (ЕМП) – відбувається видалення шлаку окисного періоду плавлення.

Після вивантаження шлаку до печі додаються шпат (флюорит або флюс) в кількості 2,0 кг на тонну сталі і вапно – 10 кг на тонну сталі. При цьому піч залишається вимкненою, а розплав перемішують протягом 5 хвилин металевими гребками або за допомогою ЕМП – протягом 10 хвилин.

Після цього відбирають дві контрольні проби металу для проведення хімічного аналізу, вимірюється температура і здійснюється попереднє коригування хімічного складу сталі через введення феросплавів, розраховуючи їх кількість на основі результатів аналізу проб металу, відібраних після продування розплаву.

Під час внесення коригувальних добавок феросплавів рафінувальний шлак розкислюється порошком алюмінію з нормою 0,5 кг на тонну сталі. Альтернативно дозволяється використовувати кусковий алюміній замість порошкового для виконання функцій розкислювача шлаку.

3.2.9 Випуск і позапічна обробка сталі

До моменту випуску плавки необхідно підготувати щонайменше три дерев'яні гребки. За 10 хвилин до випуску густий шлак розріджують шляхом введення шпату в піч, одночасно перемішуючи його дерев'яними гребками до повного зникнення згустків. Великі згустки шлаку та шматки вогнетривкого матеріалу видаляються з печі до початку випуску плавки. Заборонено наявність скрапу в жолобі. Після ремонту і підмазування жолоб необхідно прожарити.

Плавка зливається в ківш максимально компактним потоком. Час випуску плавки з печі в ківш повинен складати не більше 4–5 хвилин. Витримка сталі в ковші перед подачею на УПК становить 6–10 хвилин, за цей час завантажується шлак.

На УПК здійснюють замір температури сталі у ковші та її підігрів (коригування температури) перед подачею на вакуумну обробку, а також відбирають пробу сталі для хімічного аналізу. У разі необхідності додаються феросплави, розкислювачі та інші елементи.

На установці вакуумування перед закриттям ковша кришкою виконується утеплення залишкового дзеркала шлаку фузою. Після герметизації установки досягають вакууму за допомогою пароінжекторних насосів на рівні 3 * 10^{-3} атмосфери і витримують близько 10–15 хвилин, причому час може бути змінений за потреби. Після скидання вакууму додають Si - Ca в кількості 0,05–0,3 кг/т, вимірюють температуру, при необхідності знову підігрів на КПК та передають на розлив.

3.3 Термообробка

До інструментальних сталей належить широка група металевих матеріалів, які за певних умов можуть бути включені одразу до кількох класифікаційних категорій.

У контексті аналізу виробничого процесу запропоновано заснувати технологію, що спрямована на покращення економічної ефективності та оптимізацію витрат. Зокрема, отримані товарні заготовки, відлиті на МБЛЗ, але не спрямовані для обробки на ЕШП або ВДП, рекомендується поміщати у спеціальні термообробні колодязі, які за проєктом планується встановлювати безпосередньо у виробничому цеху. Такий підхід дозволить значно скоротити витрати енергоносіїв. Деякі прогнози вказують на потенційну можливість зниження витрат до 15–20%, залежно від умов експлуатації. Температура металевих заготовок варіюється у діапазоні 500–900 °C, залежно від сорту сталі та кількості плавкових циклів розливання.

Доведення металу до необхідного робочого температурного режиму здійснюється поступово з використанням визначеного проміжку часу. Робоча температура нагрівання становить 930–960 °C, після чого проводиться ізотермічний

відпал при температурі на 100–150 °С нижче зазначеного рівня. Тривалість такого відпалу складає не менше 72 годин.

Для запобігання зміні хімічного складу сталі в процесі термообробки пропонується використовувати спеціальні суміші, що включають хлориди барію, калію та натрію. Відпускний процес має на меті часткове зниження внутрішніх напружень і покращення міцнісних характеристик металу. Температурний режим відпуску залежить від вимог, які пред'являються до товарного металу, і узгоджується з плавковими нормами.

Для отримання підвищеної твердості температури варіюються в діапазоні 100–190 °С. Якщо потрібна висока в'язкість у поєднанні з помірною твердістю (HRC 45–50), режим відпуску становить 300–350 °С. Загартування є важливим етапом, спрямованим на підвищення внутрішніх напружень та подрібнення зерна, що забезпечує отримання твердості HRC 61–63.

Дрібносортний матеріал нагрівають до температури 930–960 °С, витримують заданий період, після чого охолоджують у маслі або соляних розчинах при 150–160 °С. Подальше охолодження здійснюється природним шляхом – на свіжому повітрі.

3.4 Розрахунок шихти на виплавку сталі марки 15Х5ВФ

Розрахунок складу шихти для виплавки сталі марки 15Х5ВФ у дуговій електропечі з основною футеровкою здійснювався відповідно до затвердженої технології виплавки.

Метою такого розрахунку є оцінка доцільності застосування запропонованих залізовмісних матеріалів шихти, компонентів для утворення шлаку та феросплавів, необхідних для виконання подальших економічних розрахунків у рамках даної роботи.

Розрахунки, пов’язані з визначенням витрат шихтових матеріалів для виробництва сталі марки 15Х5ВФ, проводилися із залученням програмного забезпечення "Сталеплавильник". У процесі розрахунку використовувалися вихідні

дані щодо хімічного складу сталі 15Х5ВФ згідно з вимогами Державного стандарту, які були враховані відповідно до зведеної таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Хімічний склад сталі

Хімічний склад сталі	Вміст елементів, %								
	C	Mn	Si	V	Cr	W	Ni	S	P
За ДСТУ нижня межа	0,00	0,00	0,30	0,40	4,50	0,40	0,00	0,00	0,00
За ДСТУ верхня межа	0,15	0,50	0,60	0,60	6,00	0,60	0,60	0,03	0,03
Прийнятий для розрахунку	0,08	0,25	0,45	0,50	5,25	0,50	0,30	0,013	0,013

Як шихтові матеріали використовується сталевий брухт і чавун у співвідношення 90:10 (співвідношення прийнято згідно з технологією), хімічний склад яких наведено в таблиці 3.3.

Розкислювачі та легуючі необхідні для виплавки сталі 15Х5ВФ наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Хімічний склад розкислювачів та легуючих добавок

Найменування	Марка	Хімічний склад, %										
		З	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni	Al	S	P
Феросиліцій	ФСи75		78		0,3					1,5	0,02	0,05
Феромарганець	ФМн1.0	1	2	85							0,03	0,3
Феровольфрам	ФВ70	0,5	0,8	0,5		2		70		5	0,1	0,06
Феровanадій	ФВд75б	0,15	1	0,6			75			2,5	0,1	0,1
Ферохром	ФХ004А	0,04	1,5		68					0,3	0,03	0,02

Розрахунок провадиться на 100 кг завалки. Шихта складається з розрахунку отримання в кінці окисного періоду вуглецю на0,03%.

Таблиця 3.3 - Хімічний склад шихтових матеріалів

Шихтовий матеріал	Співвідношення, %	склад				
		C	Mn	Si	S	P
					не більше	
Сталевий брухт	90	0,25	0,2	0,25	0,035	0,035
Чавун	10	3,8	1,1	0,9	0,04	0,25
Завалка	100	0,605	0,290	0,315	0,057	0,036

Матеріальний баланс відновлювального періоду плавки наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Матеріальний баланс відновлювального періоду плавки

Внесено, кг		Отримано, кг	
Метал першого періоду	99,681	Метал другого періоду	110,930
Шлак першого періоду	0,706	Шлак другого періоду	4,585
Вапна	2,443	Газів	0,099
Плавикового шпату	0,611		
Шамотного бою	1,018		
Коксу	0,072		
Магнезиту	0,300		
FeSi	0,640		
FeMn	0,241		
FeMo	0,000		
FeW	0,792		
FeV	0,740		
FeCr	8,564		
Ni	0,343		
Разом	116,007	Разом	115,613

Нев'язка: (116,007-115,613)·100/115,613=0,34%.

Таблиця 3.5 – Перевірка хімічного складу отриманого металу в результаті виконаного розрахунку

Джерело надходження	кг	Вміст елементів, %								
		C	Mn	Si	V	Cr	W	Ni	P	S
Метал 1-го періоду	99,68	0,109	0,065						0,011	0,027
FeSi	0,450	0,000	0,000	0,317	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
FeMn	0,230	0,002	0,177	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
FeW	0,790	0,004	0,004	0,006	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000
FeV	0,738	0,001	0,004	0,007	0,500	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
FeCr	8,540	0,003	0,000	0,116	0,000	5,248	0,000	0,000	0,002	0,002
Кокс	0,095	0,04								0,001
Переходить у шлак										0,014
Склад за ГОСТом		0,00/ 0,15	0,00/ 0,500	0,30/ 0,600	0,40/ 0,600	4,50/ 6,000	0,40/ 0,600	0,00/ 0,600	0,0/ 0,025	0,0/ 0,025
Прийнято до розрахунку		0,08	0,250	0,450	0,500	5,250	0,500	0,300	0,013	0,013
Отримано	110,65	0,07	0,250	0,450	0,500	5,250	0,500	0,300	0,15	0,14

Остаточне розкислення плавки здійснюється алюмінієм у кількості 0,7–1,5 кг/т. Алюміній додають або безпосередньо в піч перед випуском, або під час випуску сталі в ківш. Також дозволяється вносити алюміній у ківш перед початком випуску плавки.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що вибрана технологія для виготовлення сталі марки 15Х5ВФ є прийнятною, як і обране співвідношення шихтових матеріалів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори плавильної ділянки ПрАТ «ДСС»

На сталеплавильній ділянці існують значні ризики, пов’язані з небезпечними та шкідливими виробничими факторами, такими як рухомі машини й механізми, високий рівень шуму, вібрація, запиленість повітря, наявність токсичних газів, теплонадлишки, а також загроза ураження електричним струмом.

Під час роботи печей виділяються чадний і коксовий гази, а також активно використовується природний газ. Можливість витоку газів виникає через конструктивні недоліки, наприклад, нещільності, тріщини в корпусі печей, оглядових отворів або даху.

У цеху експлуатуються три електропечі типу ДСП-50, призначені для виплавки інструментальних сталей. Процес плавлення сталі передбачає інтенсивне переміщення великих мас металу за допомогою мостових кранів. До особливо небезпечних операцій належать: випуск металу й шлаку, їх транспортування, розлив розплавленого металу та обробка гарячого матеріалу.

Ризики при виконанні цих операцій підвищуються через високу температуру та можливість виникнення аварійних ситуацій. Шум у приміщенні є хаотичним поєднанням звукових хвиль, що генеруються під час роботи електропечей, кранів і іншого обладнання. Надмірний шум негативно впливає на здоров'я працівників, провокуючи травматизм, зниження концентрації уваги та втомлюваність слухової системи. За тривалого впливу підвищений рівень шуму може викликати погіршення або навіть втрату слуху.

Відповідно до нормативів допустимий рівень звукового тиску при частоті 1000 Гц становить 80 дБА. Вібрація оцінюється за такими параметрами, як частота, амплітуда, швидкість і прискорення. У цеху основними джерелами вібрації є підйомно-транспортне обладнання. Загальна вібрація впливає на організм працівника через поверхню контакту з обладнанням або підлогою. Тривала дія вібрацій може спричинити розвиток професійного захворювання — вібраційної

хвороби чи невриту. Регламентовані величини вібрації визначаються спеціальними нормативами: тривалість впливу не повинна перевищувати двох третин робочого дня за рівня віброшвидкості 92 дБ.

Запиленість цеху також несе загрозу здоров'ю працівників. Тривалим впливом пилу пояснюється розвиток таких захворювань, як пневмоконіоз чи емфізема легенів.

Таблиця 4.1 - Концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони відповідно до встановлених санітарних норм

№ п/п	Ділянка, робоче місце	Найменування компонентів	Концентрація мг/м^3	ГДК, мг/м^3
1	Шихтовий проліт	Пил	8,1	4,0
		SiO_2	2,9	3,0
		Cr_2O_3	0,03	1,0
		MnO	0,04	0,3
		Ni	0,016	0,5
2	Пічний проліт	Пил	6,1	4,0
		SiO_2	4,9	3,0
		Cr_2O_3	0,6	1,0
		MnO	0,5	0,3
		Ni	0,5	0,5
3	Розливний проліт	Пил	3,6	4,0
		SiO_2	1,4	3,0
		Cr_2O_3	0,2	1,0
		MnO	0,2	0,3
		Ni	0,02	0,5

Загазованість повітря є наслідком некоректної роботи газоочисних установок під час плавлення та випуску металу. Навіть незначна концентрація шкідливих викидів, зокрема оксиду вуглецю, що систематично потрапляє в організм людини, здатна знижувати його функціональні можливості та спричиняти тяжкі наслідки, такі як інтоксикація та порушення функцій вегетативно-судинної системи.

Оксид вуглецю представляє собою безбарвний і беззапаховий газ, який не викликає подразнюючої дії на організм, але може призвести до отруєння без видимих попереджувальних ознак. Потрапляючи до організму через дихальну систему, цей газ порушує природні процеси газообміну та окислення, що зумовлює

серйозні наслідки для здоров'я. Концентрація оксиду вуглецю в повітрі становить 29%, а гранично допустима концентрація (ГДК) дорівнює 20 мг/м³. Згідно з класифікацією небезпеки, оксид вуглецю належить до другого класу високонебезпечних речовин.

Теплові надлишки є результатом функціонування печей та інших джерел теплового випромінювання. В зимовий період температура повітря в робочій зоні повинна підтримуватися у межах від 16 до 23°С, тоді як у літній період вона має перевищувати температуру зовнішнього повітря на 2-5°С, але не перевищувати 33°С. Крім того, теплові надлишки не повинні перевищувати значення 140 Вт/м².

Значні коливання параметрів мікроклімату негативно впливають на терморегуляцію людського організму. За своєю природою сталеплавильне виробництво належить до категорії важких видів праці, оскільки передбачає високу витрату енергії (понад 290,75 Вт), систематичне фізичне навантаження, постійне переміщення та перенесення вантажів масою понад 10 кг.

Технологічні операції здійснюються в умовах несприятливого мікроклімату. Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату робочої зони пічного відділення проєктованого цеху наведено у таблицях 4.2 та 4.3.

Таблиця 4.2 - Оптимальні норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні

Сезон року	Категорія тяжкості робіт	Температура, ^{0}C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, не більше, м/с
Холодний та перехідний	Важка - III	16-18	40-60	0,3
Теплий період року		18-21	40-60	0,5

Таблиця 4.3 - Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні у теплий період року

Категорія робіт	Температура повітря ^{0}C	Відносна вологість повітря, не більше, %	Швидкість руху повітря, не більше, %
Важка - III	13 - 19	75	0,5

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на плавильній ділянці наведено в карті умов праці на робочому місці плавильника у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Карта умов праці робочому місці підручного сталевара

Фактори виробничого середовища та праці	Нормативне значення ГДК, ПДК	Фактичне значення	Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Час дії фактора, %
			I кл.	IIкл.	IIIкл.	
1.Шкідливі хімічні речовини, г/м^3						
I клас Ангідрид хромовий Оксид марганцю Нікель	 1,0 0,3 0,5	 1,5 0,4 0,6	 1,5 1,33 1,2			 80 80 80
III-IV класи Азот діоксид Ангідрид сірчистий Оксид вуглецю	 2,0 10,0 20,0	 3,3 18,0 25,0		 4,7		 84,2
2.Пил переважно фіброгенної дії. Вміст діоксиду Si 3,16%	4	6	1,5			80
3. Шум, дБА	80	97			17	100
4.Мікроклімат у приміщенні у теплий період: t^{0}C повітря; швидкість руху повітря; відносна вологість повітря; інфрачервоне випромінювання	 19 0,5 75 140	 37 0,6 42 5270	 1,2 0,56		 18 5270	 90 90 90 80
5.Статичне навантаження. Величина навантаження за зміну за участю м'язів тулуба та ніг	130000	252956	252956			
6. Робоча поза. Нахили корпусу, переміщення у просторі	101	Вимушені нахили	Вимушені нахили 223			
7.Напруженість організатор. функцій Зір		Сліплюча дія розплавленого Ме і Шл				

Електробезпека – це захист від ураження електричним струмом, що виникає при контакті людини з незаземленими струмопровідними частинами робочих установок. Згідно зі ступенем ризику, плавильна ділянка належить до другого класу небезпеки, що пов'язано з високими температурами. Вплив електричного струму на організм людини значною мірою залежить від багатьох чинників, таких як загальний фізичний стан, специфіка контакту тіла з електричним ланцюгом та інші обставини. Порогові показники сили струму (мА) мають такі наслідки: 0,6-1,5 при змінному струмі 50-60 Гц викликає легке тремтіння пальців, 5-10 – судоми рук, 20-25 – параліч рук, утруднення дихання та сильний біль.

Частини електрообладнання, які в нормальних умовах не мають бути під напругою, як-от корпуси пристроїв чи оболонки кабелів, можуть випадково опинитися під напругою через пошкодження ізоляції. У випадку, якщо працівник торкається незаземленого корпусу, що виявився під напругою, весь струм замикання на землю проходить крізь його тіло.

4.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

4.2.1 Інженерні заходи

Ефективним засобом зниження рівня шуму є використання різноманітних повітряних глушників і демпферів для очищення газів, які встановлюються на вентиляційних системах.

Важливим заходом також є заміна механічного обладнання на гідравлічне, що активно впроваджується на сучасних електропечах типу ДСП. До таких рішень належать гідроприводи для повороту та підйому, механізми переміщення електродів тощо. Крім того, важливо забезпечувати точне врівноваження рухомих частин і зниження вібрації.

Для зменшення вібрацій при використанні пневматичних інструментів, особливо під час ремонту футеровки печей чи в аварійних умовах, рекомендується застосовувати віброзахисні механізми. Одним із таких пристроїв є віброзахисна рукоятка, яка здатна знижувати вібрацію у 8-10 разів. Також під час роботи радять

робити невеликі перерви або перемикатися на завдання, не пов'язані із впливом вібрацій.

У процесі виробництва сталі відбувається значний викид газів із печей. Для зменшення обсягів шкідливих газів і пилу необхідно оснастити печі системами пилогазоочищення та припливно-витяжною вентиляцією. Щоб знизити концентрацію чадного газу в повітрі робочого простору, слід забезпечити герметичність газових комунікацій і арматури, а також усунути нещільності кожуха печі.

Заходи боротьби з утворенням надмірного тепла включають кілька ефективних рішень. В першу чергу потрібне застосування водоохолодження для певних конструкцій печі. Для видалення конвекційного тепла у цеху слід використовувати аерацію шляхом встановлення аераційних ліхтарів типу КТІС на даху будівлі. Додатковим способом зниження температури є організація повітряного душу для робочого місця сталевара.

З метою зменшення ризику ураження електричним струмом струмопровідні елементи необхідно огороджувати, а металеві частини обладнання обов’язково заземлювати.

4.2.2 Засоби індивідуального захисту

У тих випадках, коли забезпечення безпеки працівників неможливе через конструктивні особливості обладнання або застосування інших технічних заходів, необхідним є використання індивідуальних засобів захисту.

Такі засоби класифікуються за наступними категоріями:

• Спеціальний одяг. Цей тип захисту використовується для охорони тіла працівника від бризок розплавленого металу та дії променистої енергії. Ефективний захист забезпечують суконні тканини, а також лляні та бавовняні матеріали з вогнетривким просоченням. Захист від електричного струму забезпечується прогумованим одягом та діелектричними рукавичками чи рукавицями.

• Спеціальне взуття. Воно призначене для зменшення ризиків, пов’язаних з впливом небезпечних виробничих чинників на ноги працівників. Взуття виготовляється зі шкіри або штучних замінників та оснащується сталевим підноском, здатним витримати удар силою до 20 кг, що знижує ризик травмування стопи. Для захисту від впливу електроструму використовуються прогумовані боти.

• Засоби захисту очей та обличчя. Захисні окуляри та щитки розроблені для попередження впливу твердих частинок, крапель рідких металів, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання на органи зору й обличчя. Під час роботи на плавильних установках використовуються наголовні щитки, оснащені світлофільтрами або комбінацією безбарвного скла та світлофільтру.

• Захисні засоби для органів дихання. Вони поділяються на дві основні групи: фільтруючі (протизапилові респіратори та протигази) та ізолюючі пристрої (шлангові респіратори і пневматичні костюми).

• Засоби захисту органів слуху. Для мінімізації несприятливого впливу шуму застосовуються шумоізоляційні шоломи та антифони спеціальної конструкції.

• Засоби захисту від електричного струму. До цієї категорії належать ізолюючі штанги, які використовуються під час робіт з роз'єднувачами високої напруги та тимчасовими заземлювачами; ізолюючі кліщі для включення запобіжників; а також діелектричні килимки зі спеціальної гуми товщиною 3-5 мм для електроустановок до 1000 В і 7-8 мм для напруги понад 1000 В. Для роботи біля печей працівникам видаються спеціальні окуляри.

У випадках роботи при температурах до 1800°С використовуються захисні скла типу СС4.

Спецодяг від виробничих забруднень:

Комбінезони робочі - ГОСТ 12276-66

Халати жіночі робочі - ГОСТ 11622-73

Халати робочі чоловічі - ГОСТ 11621-73

Спеціальне взуття:

Валянки повстяні - МРТУ 17-702-68

Від хімічних опіків:

Рукавиці – КР ТУ 38-702-68

Окуляри герметичні - ГОСТ 9496-60

Гумові чоботи - ТУ 38-106-17-70

Респіратори універсальні - РУ - 60

Протигази промислові, марки: В, БКФ, СОХ, П-2 - ТУ 38-108-62

Захист від ураження електричним струмом:

Рукавички діелектричні - ТУ 38-105-504-72

Калоші гумові - МРТУ 17-702-68

4.2.3 Організаційні заходи

У справі запобігання виробничим нещасним випадкам особливу важливість має організація інструктажів та навчання, зокрема на режимних об’єктах, а також підготовка інженерно-технічного персоналу заводу.

Інструктаж щодо безпечних методів роботи проводиться у чотирьох форматах:

Вступний. Цей вид інструктажу здійснюється інженером з охорони праці ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Первинний. Проводиться безпосередньо на робочому місці майстром, механіком або старшим електриком.

Повторний (періодичний). Його виконують майстри через проміжки часу, які встановлюються головним інженером заводу.

Позаплановий. Цей інструктаж організовують ті ж майстри дільниць у випадках зміни технологічних процесів, порушення робітником правил безпеки, або у разі виникнення травм через недостатню обізнаність із правилами безпечного ведення робіт.

Крім цього, необхідне навчання заходів із забезпечення безпеки праці на спеціальних курсах із техніки безпеки або інших профільних навчальних програмах. Загальне керівництво та відповідальність за належну організацію навчання й інструктажу покладаються на головного інженера, а контроль за їх своєчасним та якісним проведенням здійснює інженер з охорони праці.

Первинний інструктаж на робочому місці має демонструвати правильні методи виконання трудових завдань і формувати професійні навички працівників. Повторний і позаплановий інструктаж проводяться з періодичністю раз на 1–6 місяців. Вони включають обговорення випадків травматизму та заходів, які потрібно вжити для запобігання подібним ситуаціям у майбутньому.

Усі види інструктажів фіксуються у спеціальних журналах, а вступний — додатково реєструється в приймальній записці, де також зазначається проведення інструктажу щодо заходів пожежної безпеки.

4.3 Розробка інженерних заходів щодо зниження електронебезпеки на плавильній ділянці

Розчисляємо заземлюючий пристрій трансформатора для печі з напругою 6/0,4-0,23 кВ. Сторона 6 кВ має ізольовану нейтраль, сторона 0,4 - 0,23 кВ - глухозаземлену нейтраль. Струм однофазного замикання на землю на стороні 6 кВ $I_З$ = 25 А. Питомий опір ґрунту в місці спорудження трансформатора $\rho_{ИЗ}$=$2 \cdot 10^4$Ом · см. Трансформатор одержує живлення двома кабелями напругою 6 кВ; виміряний опір оболонок кабелів Re = 5,65 Ом. Периметр контуру заземлювального пристрою навколо трансформатора L = 50 м. Відстань між заземлювачами а = 2 м.

Величину опору захисного заземлення встановлюємо з умови виконання загального пристрою для напруг 0,4 і 6 кВ;

$$R_З = 125/I_З = 125/25 = 5 \text{ Ом}. \quad (4.1)$$

Величина опору захисного заземлення за 0,4 кВ має становити 4 Ом. Отже, при спільному виконанні захисних заземлень загальний опір захисного заземлення має бути не більше 4Ом. Так як величина опору природного заземлювача $R_е$ = 5,56 Ом і є більш допустимою за нормами $R_З$ = 4 Ом, слід застосувати додаткові штучні заземлювачі, опір якого визначається за формулою:

$$R_{\text{и}} = \frac{R_{\text{е}} \cdot R_{\text{з}}}{R_{\text{е}} - R_{\text{з}}} = \frac{5{,}65 \cdot 4}{5{,}65 - 4} = 13{,}5\text{Ом} \quad (4.2)$$

Як штучні заземлювачі пропонується застосувати пруткові електроди діаметром d = 12 мм, довжиною ℓ= 5 м, опір яких з урахуванням опору ґрунту $\rho_{\text{из}} = 2 \cdot 10^4\text{Ом} \cdot \text{см}$ при $\psi_2 = 1{,}5$ (коефіцієнт вологості ґрунту) та $R_{\text{ПР}} = 0{,}00227$

$$\rho_{\text{ИЗ}}\psi_2 = 0{,}00227 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 1{,}5 = 68\text{Ом}. \quad (4.3)$$

При розміщенні пруткових електродів по периметру підстанції загальна кількість прутків становитиме:

$$n = 50/2 = 25 \quad (4.4)$$

З урахуванням коефіцієнта екранування η = 0,59, який вибирається в залежності від кількості прутків при відношенні $a/\ell = 1$величина опору всього контуру заземлювального пристрою без урахування протяжного заземлювача Rn становить

$$R_{i1} = R_{\text{пр}}/n\eta = \frac{68}{10 \cdot 0{,}59} = 11\text{Ом} \quad (4.5)$$

Оскільки R_{i1} = 11 Ом менше граничної розрахункової величини R_i = 13,5 Ом, то число стрижнів із прутків у кількості 25 шт. вибрано правильно і враховувати опір протяжного заземлювача R_n не слід. Таким чином, пропоноване захисне заземлення печі забезпечуватиме зниження потенціалу на корпусі до безпечної величини.

4.4 Протипожежна безпека у сталеплавильному цеху

За вибухопожежною небезпекою плавильна ділянка належить до категорії Г, оскільки тут застосовуються негорючі речовини та матеріали в гарячому або розпеченому стані, при яких виділяється лише променистa енергія. У цеху можуть виникати ситуації, коли рідкий метал або шлак потрапляють на вологу підлогу,

ґрунт, різні матеріали чи конструкції. Подібні випадки часто супроводжуються вибухами, що призводять до розбризкування рідкого металу або шлаку.

Особливу небезпеку становлять вибухи у фурмах. У таких ситуаціях відбувається руйнування склепіння, і через фурмовий отвір на робочий майданчик викидаються розпечений кокс та гази. При контакті з повітрям вони займаються, утворюючи довгі іскристі язики полум'я. Сталеплавильний цех належить до будівель із першою ступінню вогнестійкості окремих конструктивних елементів.

Протипожежні профілактичні заходи

Для стримування поширення вогню застосовують матеріали з високими вогнетривкими властивостями. У місцях проходження газопроводів до підвальних приміщень будівель встановлюють спеціалізовані дренажні системи, які унеможливлюють проникнення газу в ці зони.

Місце розташування пожежного депо – два кілометри від цеху.

Протипожежні перешкоди в цеху:

Протипожежні стіни з межею вогнестійкості – 2,5 год;

Протипожежні перекриття – 1,0 год;

Протипожежні двері, вікна, лики, ворота – 1,0 год.

Використання системи центрального опалення. Опалювальні прилади необхідно захищати екранами – щитами.

Природна витяжна вентиляційна система з дефлекторами

Встановлення вибухозахищеного електрообладнання має на меті забезпечення безпечної експлуатації в умовах високої небезпеки. Зокрема, передбачається установка автоматичних вимикачів, які запобігають перегріву електроприладів, що знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Для захисту споруд від впливу атмосферних електричних розрядів у сучасних умовах застосовується блискавкозахист першої категорії.

Забезпечення пожежної безпеки включає використання засобів гасіння пожеж, таких як вогнегасники марок ОХП-10 та ОУ-25, а також допоміжних засобів, наприклад піску, сокир, лопат і ломів.

Додатково проєктом передбачено аварійну систему вентиляції для видалення диму в разі виникнення пожежі. Її основною функцією є створення умов для безпечної евакуації людей на початковій стадії займання у кабельних тунелях.

У приміщеннях виробничого цеху вентиляція для видалення диму має здійснюватися переважно за допомогою систем природного спонукання. Для систем протидимної витяжної вентиляції передбачається встановлення радіальних вентиляторів із електродвигунами, змонтованими на одному валу. При цьому конструкція обладнання повинна відповідати категорії обслуговуваного приміщення.

Варто врахувати, що елементи цих систем мають забезпечувати вогнестійкість протягом не менше ніж 0,5 години. Викид диму до атмосфери здійснюється через спеціально передбачені отвори: для систем зі штучним спонуканням оснащені парасольками, а для систем із природним спонуканням — дефлекторами. Висота викиду становить не менше 2 метрів над рівнем покрівлі.

В аерованому пічному прольоті цеху дозволяється організація відведення диму від шахт, які обслуговують маслопідвали та кабельні тунелі. При цьому гирло шахт має розташовуватися на рівні не нижче 9 метрів від підлоги пічного прольоту та бути щонайменше на 3 метри віддаленим по вертикалі і на 2 метри — по горизонталі від будівельних конструкцій цеху.

4.5 Розрахунок захисної повітряної завіси у воріт цеху

Основне обладнання цеху функціонує при високих температурах. Тому при проектуванні таких цехів особливу увагу приділяють організації аерації робочих місць.

Одним із ефективних рішень є встановлення повітряних завіс біля входу до цеху. Кількість повітря, що подається в сопла завіси, при відсутності механічного припливу та витяжки або при їх збалансованості, визначається в кг/с.

$$G_{зав} = 1{,}42 q \mu_{пр} F_{пр} \sqrt{\Delta P \rho_{см}} \quad (4.6)$$

де: $q=G_{зав}/G_{пр}$ - відношення витрати повітря, що подається вентилятором в сопла завіси витрати повітря, що проходить через отвір;

$\mu_{пр}$ - коефіцієнт витрати;

$F_{пр}$ - площа отвору, що відкривається, м^2;

ΔP - різницю тиску повітря зовні і всередині приміщень на рівні отвору, обладнаного завісою, Па;

$\rho_{см}$ - щільність суміші повітря завіси та зовнішнього повітря при температурі, що дорівнює нормованій в районі воріт, кг/м^3.

Для завіс із горизонтальною подачею повітря приймаємо $\mu_{пр}=0{,}3$; $q=0{,}7$. розрахункова різниця тисків складе:

$$\Delta P = h (\rho н – \rho в) g = 3{,}5 (1{,}293 - 1{,}152) * 9{,}81 = 4{,}841 \text{ Па}; \quad (4.7)$$

де: h-відстань по вертикалі від центру отвору до нейтральної зони (приймаємо раною 3,5) м;

$\rho_н$ $\rho_в$ – щільність повітря (1,293 і 1,152 відповідно) зовнішнього та в приміщенні, кг/м^3.

Тоді:

$$G_{зав} = 1{,}42 * 0{,}7 * 0{,}3 * 70 * \sqrt{4{,}841 * 2{,}445} = 71{,}814 \text{кг/с} \quad (4.8)$$

Температура повітря завіси, що подається в сопла:

$$t_{зав} = \frac{t_{см} - t_н}{q(1 - \frac{Q'}{Q_{зав}})} + t_н = \frac{15-0}{0{,}7(1-0{,}2)} + 0 = 26{,}786^{\circ}\text{C} \quad (4.9)$$

де: $t_{см}$ - температура суміші повітря, що проходить через отвір (15^0C);

$t_н$ - зовнішня температура (0^0C).

Теплова потужність калориферів повітряної завіси визначається за такою формулою:

$$Q_{\text{зав}} = G_{\text{зав}}(t_{\text{зав}} - t_{\text{нач}}) = 71{,}814(26{,}786 - 15) = 846{,}40 \quad (4.10)$$

де: $t_{\text{поч}}$ = tсм = 15^0С.

Ширина щілини визначається із співвідношення:

$$b = F_{\text{пр}}/(2\bar{F}_{\text{пр}} * H_{\text{щ}}) = 70/(2 * 30 * 7) = 0{,}17\text{м} \quad (4.11)$$

де: $F_{\text{пр}}$ - площа отвору, що дорівнює 70 м^2;

$F_{\text{пр}}$ - приймаємо рівним 30;

$H_{\text{щ}}$ - висота воріт, рівна 7м.

Швидкість виходу повітря із щілини:

$$V_{\text{щ}} = \frac{G_{\text{зав}}}{n*b_{\text{щ}}*H_{\text{щ}}*\rho_{\text{зав}}} = \frac{71{,}814}{1*0{,}17*7*2{,}445} = 24{,}68\ \text{м/с} \quad (4.12)$$

де: n – число роздаючих повітроводів, що дорівнює 1;

$\rho_{\text{зав}}$ – щільність повітря, що подається в завісу, приймаємо рівною 2,445 кг/м^3.

ВИСНОВКИ

У результаті досліджень та розробки технологій виробництва запланованої марки сталі були надані наступні рекомендації:

1. З метою зниження енерговитрат рекомендовано використовувати великогабаритні шихтові матеріали, щоб суттєво зменшити кількість підвалків і досягти економії на витратах феросплавів. Підвищений вміст вуглецю у завантаженні також сприятиме енергозбереженню завдяки екзотермічності його окислення, що підвищить якість металу за рахунок тривалого кінцевого відновного плавлення.

2. Використання установок УПК дозволить перенести частину технологічних процесів за межі основного металургійного агрегату (ДСП-50), що може суттєво вплинути на продуктивність за рахунок виносу процесів легування, десульфурації та розкислення за межі звичайних виробничих програм.

3. Впровадження установок для вакуумування забезпечить отримання високоякісного та конкурентоспроможного металу з мінімальним вмістом газів і низькою оцінкою по бальностях.

4. Установки МБЛЗ вертикального типу значно підвищать вихід придатного металу, а варіативність прокатки за рідкою серцевиною допоможе забезпечити якісний і високоякісний розлив металу на машині.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.
3. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об’єм поверхні та поверхня в об’ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.
4. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.
5. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.
6. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.
7. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
8. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.
9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.
10. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.

11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.
12. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. С. 264.
13. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.
14. Сталеплавильне виробництво: навч. посіб. / В.І. Баптизманський та ін.]. Київ : ФЗМН, 1996. 400 с.
15. Мальцов А.Н. Внепечная обработка металлических расплавов. Киев : 1986. 649 с.
16. Сборник технологических инструкций по выплавке стали в открытой дуговой печи. Запорожье : ОАО «Днепроспецсталь», 2004. 245 с.
17. Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.
18. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».
19. Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.
20. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.
21. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги.
22. ДСТУ 3038-95 Гігієна. Терміни та визначення основних понять.
23. 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).
24. НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безопасной эксплуатации электроустановок (ДНАОП 1.1.10-1.01-97).

25. СНиП 2.01.02-85*. Протипожежні норми (Діє ДБН В 1.1-7-2002) (2.01.02-85*) (СНиП 2.01.02-85*. Противопожарные нормы (Действует ДБН В 1.1-7-2002)).
26. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.
27. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.