

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота / проєкт**

перший (бакалаврський) рівень  
(рівень вищої освіти)

на тему Огляд особливостей технології виплавки конструкційної легованої сталі

Виконав: студент 5 курсу, групи МЕТ-18-16з  
спеціальності 136 «Металургія»  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми

Металургія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Р.В. Родигін

(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. металургійних технологій,  
екології та техногенної безпеки,  
канд. техн. наук О.С.Воденнікова  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. металургійних технологій,  
екології та техногенної безпеки,  
канд. техн. наук Т.М. Нестеренко  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 «Металургія»

(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Освітня програма Металургія

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри металургійних  
технологій, екології та техногенної безпеки

Ю.О. Белоконь

«    »    2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Родигіну Руслану Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Огляд особливостей технології виплавки конструкційної легованої сталі.

керівник роботи канд.техн.наук, доцент Воденнікова Оксана Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "29" грудня 2022 року № 1894-с

2. Строк подання студентом роботи 19.05.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях, матеріали конференцій, патенти та ДСТУ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Конструкційна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.

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

Титульний лист – 1. Мета роботи. Завдання роботи – 1. Методи виплавки конструкційних сталей в електросталеплавильних печах. Хімічний склад сталі 30ХГСА – 1. Механічні властивості сталі 30ХГСА – 1. Технологічна схема виробництва електросталі – 1. Загальний вигляд ДСП-50 – 1. Плавильний простір та ванна ДСП-50 – 1. Технологічна схема виробництва сталі 30ХГСА – 1. Машина безперервного лиття заготовок криволінійного типу – 1. Структура сталі 30ХГСА в

процесі обробки – 1. Структура та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування – 1. Загальні висновки – 1.


6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальна частина	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. 	29.12.2022р. 
Технологічна частина	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. 	29.12.2022р. 
Конструкційна частина	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. 	29.12.2022р. 
Охорона праці та техногенна безпека	доцент О.С. Воденнікова	29.12.2022р. 	29.12.2022р. 


7. Дата видачі завдання 29.12.2022 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.05-21.05.2023	
2	Реферат	15.05-21.05.2023	
3	Загальна частина	20.03-26.03.2023	
3	Технологічна частина	27.03-19.04.2023	
4	Конструкційна частина	10.04-16.04.2023	
5	Охорона праці та техногенна безпека	17.04-23.04.2023	
6	Загальні висновки. Перелік джерел посилання	01.05-07.05.2023	

Студент  (підпис)

Р.В. Родигін  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

О.С. Воденнікова  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ (підпис)

Ю.О. Белоконь  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 63 с., 16 рис., 11 табл., 17 джерел посилання.

### КОНСТРУКЦІЙНА ЛЕГОВАНА СТАЛЬ, ДУГОВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНА ПІЧ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ СТАЛІ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ, СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Огляд особливостей технології виплавки конструкційної легованої сталі.

Мета роботи – розробити технологію виплавки сталі марки 30ХГСА.

У розділі 1 розглянуто продукцію, що випускається електросталеплавильним цехом, проаналізовано технологічну схему роботи електросталеплавильного цеху; показано сучасні методи виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості;

У розділі 2 приведено характеристику конструкційної сталі марки 30ХГСА; описано її фізико-механічні властивості; показано дослідження структури та властивості сталі 30ХГСА після обробки.

У розділі 3 описано основні елементи конструкції дугової сталеплавильної печі, приведено розрахунок геометричних параметрів ДСП-50.

У розділі 4 приведено аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища в електросталеплавильному цеху.

Запропонована технологія виплавки сталі марки 30ХГСА рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах електросталеплавильних цехів металургійних підприємств України.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Продукція, що випускається електросталеплавильним цехом, її стисла характеристика та призначення.....	9
1.2 Технологічна схема роботи електросталеплавильного цеху.....	10
1.3 Розрахунок потреби в основному устаткуванні електросталеплавильного цеху.....	12
1.4 Визначення кількості та ємності печей в електросталеплавильному цеху.....	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Сталь 30ХГСА: призначення, галузь застосування та фізико-механічні властивості.....	19
2.2 Технологічна схема виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА	21
2.3 Дослідження структури та властивостей сталі марки 30ХГСА.....	31
3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА.....	37
3.1 Вибір типу печі для електросталеплавильного цеху заданого виробництва литої заготовки.....	37
3.2 Вибір типу МБЛЗ та обчислення їх кількості для електросталеплавильного цеху заданого виробництва литої заготовки....	41
3.2.1 Вибір швидкості розливки та обчислення протяжності зони вторинного охолодження.....	41
3.2.2 Розрахунок тривалості циклу роботи МБЛЗ.....	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	47
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів електросталеплавильного цеху.....	47
4.2 Заходи щодо захисту від шкідливих і небезпечних чинників	

	6
електросталеплавильного цеху.....	48
4.3 Виробнича санітарія основного приміщення електросталеплавильного цеху, побутових та допоміжних приміщень.....	51
4.4 Пожежна безпека.....	54
4.5 Інженерний розрахунок аерації цеху.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	62

## ВСТУП

Розглядаючи динаміку зміни обсягів виробництва сталі не можна не відзначити кілька досить важливих особливостей:

– українська чорна металургія пережила два найжорстокіший кризи, що характеризується досить сильним падінням обсягів виробництва; вихід з цих криз характеризується досить повільним підйомом обсягів виробництва, які вже не досягають докризових показників;

– українська металургія характеризується вкрай великою часткою обсягів виробництва сталі в мартенівських печах, від яких вже відмовилися у всьому світі в силу їх високої енергоємності і низькій продуктивності;

– протягом майже всього розглянутого періоду частка сталі, виробленої в електродугових печах, складає трохи більше 4% (цей показник залишається практично незмінним протягом останніх півтора десятка років), що значною мірою суперечить світовій практиці дольового показника електросталі в загальному обсязі виробництва (до 20-30%). Тим часом в 2010 р. в Україну відзначений приріст обсягів виробництва електросталі: було вироблено трохи більше 2,2 млн. т. електросталі (до уваги прийняті 9 найбільших підприємств). Це складає вже більше 6,5% від виробленої в країні сталі. Найбільшими виробниками є ПрАТ «Донецький електрометалургійний завод» (м. Донецьк), ТОВ «Електросталь» (м. Курахове), ПАТ «Дніпроспецсталь» (м. Запоріжжя). Перші два підприємства досить ефективні і розвиваються в рамках стратегії мінімізації витрат виробництва. Разом з тим, цілий ряд міні-заводів концентрується на стратегіях спеціалізації у виробництві або фіксації певного сегмента ринку.

Причинами такої низької частки електросталі в загальному обсязі виробництва в Україну слід пов'язувати відразу з декількома причинами.

По-перше, Україна є єдиною країною в світі, яка вкрай повільно здійснює реалізацію стратегії заміни мартенівських печей іншими способами виплавки сталі. Наявність великого парку мартенівських печей (в експлуатації перебуває

18 печей) забезпечує високе споживання металобрухту (металева частина шихти мартенівської плавки, щонайменше, на 50% складається з металобрухту), що забезпечує високе споживання металобрухту усередині країни.

По-друге, в Україні неухильно зростає частка сталі, розливої безперервним способом, що істотно знижує частку так званого «оборотного» металобрухту. Так при розливанні сталі в зливку вихід придатної заготовки становить 80–85%, а при розливі на машинах безперервного лиття – 99–99,5%. Це обумовлює підвищення потреби в збираному металобрухті.

По-четверте, недалеко від України розташовані великі металургійні міні-заводи (Молдавський металургійний завод, заводи Туреччини тощо), плавильні потужності яких певний час були орієнтовані на металобрухт з Україною [1] – [4].

**Мета роботи** – розглянути технологічні аспекти технології виплавки сталі марки 30ХГСА.

Для вирішення поставленої мети треба вирішити **наступні завдання**:

- розглянути продукцію, що випускається електросталеплавильним цехом, проаналізувати технологічну схему роботи електросталеплавильного цеху;
- проаналізувати сучасні методи виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості;
- запропонувати технологічну схему виробництва конструкційної легованої сталі марки 30ХГСА;
- запропонувати технологію виплавки сталі марки 30ХГСА з повним окисленням в ДСП-50;
- проаналізувати структуру та властивостей сталі 30ХГСА після обробки;
- розглянути потенційно-небезпечні й шкідливі фактори виробничого середовища в електросталеплавильному цеху.



## 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Продукція, що випускається електросталеплавильним цехом, її стисла характеристика та призначення

Продукція, що випускається електросталеплавильним цехом в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь», який спеціалізується на виплавці конструкційних марок сталей, різноманітна. Тому слід виділити такі конструкційні марки сталей як сталі типу 25-30ХГСА, 38ХС, 30ХГСН2А, 30ХГСН2МА, 12-23Х2НВ(М)ФА, 30ХГСН2МА-ВД, 40ХН2СВА-ВД, КВК-37ВД, 40ХН2СМА-ВД, КВК-32, КВК-26, КВК-42ВД, 12-30Х2НВФА, 12-30Х2НМФА, 20ХГСН2МФА-Ш, 12Х2НВМФА, 12Х2НМ1Ф, 18Х2Н4В(М)А, 30Х3В(М).

Сталі в цеху можливо виплавляти наступними методами (рис. 1.1):

1. Виплавка з повним окисленням.
2. Виплавка переплавом з використанням кисню.
3. Виплавка у відкритих дугових сталеплавильних печах з рафінуванням у печі.

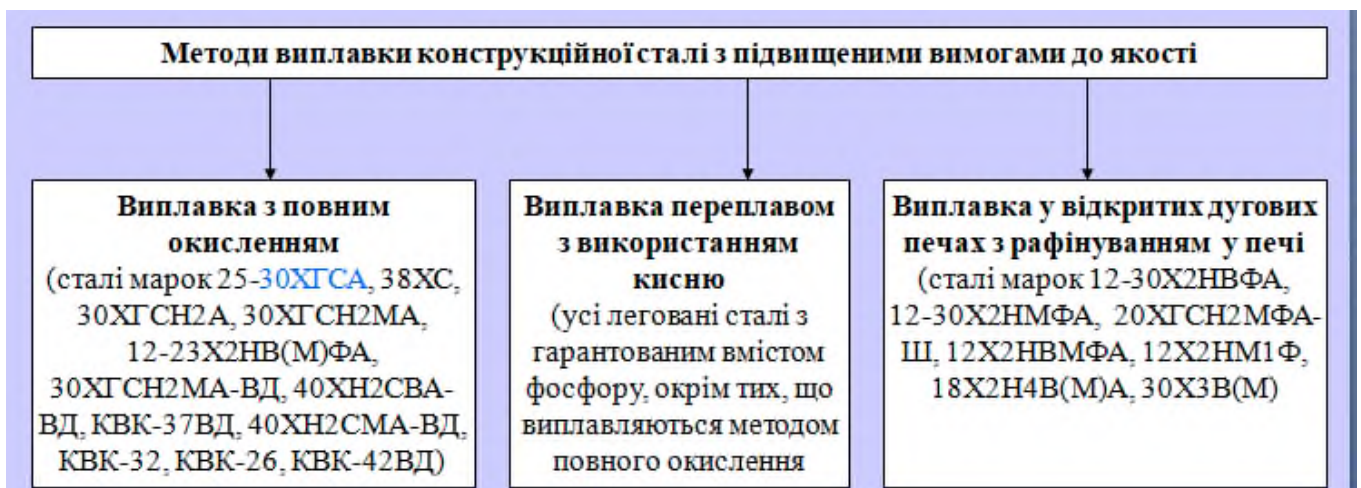


Рисунок 1.1 – Методи виплавки конструкційної сталі з підвищеними вимогами до якості

## 1.2 Технологічна схема роботи електросталеплавильного цеху

Безпосередньо загальна структура електросталеплавильного цеху (ЕСПЦ) складається з шихтового, пічного та розливного прольоту.

В шихтовому прольоті встановлені шихтові ями, в яких зберігається шихта та розташовані грейферні й магнітогрейферні крани, дробарки.

У пічному прольоті встановлені три печі для виплавки сталі, та дві установки піч – ківш.

В розливному прольоті встановлені крани які приймають і готують для розливу метал. Метал розливають в виливниці.

На сьогодні в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь» технологічний процес виробництва виглядає таким чином: металева шихта надходять в проліт по залізничних коліях в контейнерах, а частина розсипом. За допомогою магнітної шайби мостовим краном лом розвантажується в ямні бункера за сортами и габаритності для створення поточного запасу, потім в завалочні кошик-бадді. Після зважування на вагах підлогових баддя за допомогою передавального візка передається під проріз робочого майданчика пічного прольоту і завалочним краном подається в електропечі, попередньо звільнених від склепіння. Металева шихта вивантажується, а баддя повертається в шихтовий проліт за допомогою передавальної теліжки. Після того як матеріали розплавляться в печі, відбувається окислювальний період, завдяки якому віддаляються шкідливі елементи в розплавленому металі. Після випуску з печі напівпродукту (металу), в ківш додаються феросплави. Потім відбувається скачування шлаку, а вже потім ківш встановлюється на установку позапічної обробки сталі, де відбувається рафінувальній період, тобто відбувається доведення металу до заданого хімічного складу. Після обробки металу на установці піч-ківш, скачують шлак, потім ківш встановлюються на вакууматор, де відсмоктуються гази та віддаляються неметалеві включення. Після вакуумування, готова сталь за хімічним складом, газових та неметалевими

включеннями, відправляють за допомогою розливного крану на розливу сталі через шиберний затвір у виливниці.

Для електросталеплавильних цехів характерна організація виплавки і розливання сталі в одній будівлі - головній будівлі цеху; в ньому організовано зберігання запасу брухту і його завантаження в бадді і звичайне збереження оперативного запасу сипучих матеріалів, позапічна обробка сталі, підготовка ковшів. Крім головного будинку, до складу цеху входить шихтові відділення сипучих матеріалів і в деяких випадках відділення магнітних матеріалів; ряд допоміжних відділень і об'єктів, призначених для забезпечення цеху електроенергією, водою, киснем та іншими ресурсами, для очищення газів, що відводяться, виконання ремонтних робіт.

Шихтовий проліт призначений для зберігання, підготовки та передачі в пічної проліт всіх вихідних матеріалів, необхідних для виплавки сталі і обслуговування печі: металошихти, шлакотворюючих, окислювачів, розкислювачів, легуючих, заправних і футерувальних матеріалів і електродів. Для таких прольотів характерні дроблення і помел феросплавів і коксу.

Шихтовий проліт обладнаний кранами вантажопідйомністю 30/15 15 т, розподільний 180 63/20 т, проліт сипучих 20/5 т.

Об'ємно-планувальні рішення і розміри пічного прольоту, як і в цілому головного корпусу ЕСПЦ, визначаються продуктивністю цеху, - місткістю печей і сортаменту сталі. Пічний проліт призначений: для забезпечення ведення технологічного процесу: заправка печі; завалка металошихти; розплавлення шихти з застосуванням сучасних методів і пристроїв для її інтенсифікації; окислювальний період з використанням сучасного обладнання і технології; - відновлювальний період із забезпеченням раціональних схем розкислення і плавки; Обслуговування печі : управління технологічним процесом; зміна і нарощування електродів; заміна та ремонт склепіння, водоохолоджуваних панелей стін, футеровка пода і стін печі; обслуговування електричного обладнання печі; прибирання шлаку; утилізація пічних газів і неорганізованих газоподібних викидів; нагріву і прокалювання феросплавів.

Пічної проліт обладнаний трьома дуговими сталеплавильними печами типу ДСВ-50 з плановою продуктивністю 9,8 т/ год., двома мостовими кранами з них один завалочний і одна шаржир-машина для подачі в піч феросплавів і шлакоутворюючих матеріалів, двома установками піч-ківш, вакууматор фірми Mannesmann Demag, і двома печами для сушіння феросплавів.

Призначенням розливного прольоту є, своєчасна та якісна розливання сталі. Розлив здійснюється у виливниці, ємністю 3,825; 4,03; 6,67; 7,15 тонн. У розливному прольоті встановлено два мостових крани. Також розташовуються ділянку для ремонту та сушіння ковшів, двір виливниць, стріперні відділення.

### **1.3 Розрахунок потреби в основному устаткуванні електросталеплавильного цеху**

Вихідні данні для розрахунку потреби в основному устаткуванні електросталеплавильного цеху представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні данні для розрахунку потреби в основному устаткуванні електросталеплавильного цеху

Ємність печі, т	50
Номінальна потужність трансформатора, МВА	24
Тривалість плавки, год.	2,50
Тривалість розплавлення, год.	1–20

Кількість мостових завалочних кранів (n) визначається за формулою:

$$n = \frac{A \cdot \Sigma \cdot k}{1440 \cdot b},$$

де А – число завалок (плавок) на добу, шт./діб.;

$\Sigma$  – заборгованість машини (тривалість завалки) на одну плавку, хв./пл.;

$K$  – коефіцієнт нерівномірності, що враховує можливість збігу завалки на декількох печах (1–1,3);

$b$  – коефіцієнт використання машини (0,8);

1440 – число хвилин у добі, хв./діб.

Заборгованість крана ( $\Sigma$ ) складається з витрат часу на виконання наступних робіт:

– завантаження шихти – витрата кранового часу на завантаження одного кошика із днищем із гнучких секторів (підйом кошика з передатного візка й установка його на робочу площадку, підйом кошика з робочої площадки й завантаження шихти в піч, а потім виконання зворотних операцій) становить 12–15 хв.; крім того, затрачається –15 хв. на зборку днища. У нових цехах при використанні швидкохідних кранів і кошиків грейферного типу витрата кранового часу складе 6–7 хв.;

– заправлення печі центробіжною машиною 7–10 хв.;

– заміна електрода 5-6 хв.;

– перепускання двох електродів 1-2 хв.;

– допоміжні роботи – заміна сводів, транспортування електродів, обслуговування робочих печей і ін. Орієнтовно заборгованість крана на ці роботи можна прийняти 20–30 хв./пл.

$\Sigma$  приймаємо 62 хв.

Приймаємо  $k$  рівним 1,05.

$$n = \frac{A \cdot \Sigma \cdot k}{1440 \cdot b} = \frac{10 \cdot 62 \cdot 1,05}{1440 \cdot 0,8} \approx 1,0 .$$

$n = 0,577$  приймаємо 1 мостовий завалочний кран.

Число завантажувальних кошиків при завантаженні шихти в один прийом (одним кошиком) приймають рівним числу печей у цеху. При завалці у два прийоми на одну піч необхідно мати два кошики. Число передатних візків для

кошиків і поперечних передатних шляхів у нових ЕСПЦ по рекомендаціях Гіпромеза повинне дорівнювати числу печей, в данному випадку – на три печі 3 кошика, та 1 запасний, усього 4 кошиків. Число кранових і безрейкових мультдозавалочних машин визначається за формулою (1.30):

$$n = \frac{A \sum k}{1140 \cdot b} = \frac{10 \cdot 72 \cdot 1,3}{1440 \cdot 0,8} \approx 1,0.$$

Кількість мульд з шихтою:

$$n = \frac{Q_{\text{пл}}}{V_M \cdot q}$$

де  $Q_{\text{пл}}$  – витрата того чи іншого шихтового матеріалу на одну плавку, т/пл;

$V_M$  – об'єм однієї мульди, м<sup>3</sup>;

$q$  – насипна маса матеріалу в мульдї, т/м<sup>3</sup>.

При цьому заборгованість машини на завантаження однієї мульди складається з витрат часу на установку в прокалочну піч (3 хв.) і завантаження мульди в піч (2–3 хв.). Ємність мульд в ЕСПЦ становить 0,6м<sup>3</sup>.

Розрахунок потреби мульд ведеться на одну піч.

$$n_{FeMn} = \frac{0,030}{0,6 \cdot 3} \approx 1,$$

$$n_{FeSi} = \frac{0,0473}{0,6 \cdot 2,5} \approx 1,$$

$$n_{FeCr} = \frac{0,3844}{0,6 \cdot 4} \approx 1.$$

Крани шихтового прольоту вивантажують привезений розсипом сталевий брухт і чавун з вагонів у ямні бункери з наступним їхнім навантаженням у

кошки за допомогою електромагнітів, а також завантажують брухт у кошки з контейнерів.

Кількість кранів при завантаженні кошиків електромагнітами визначають за формулою:

$$n = \frac{Q_c \Sigma k}{1140 \cdot b},$$

$$n_{\text{лома}} = \frac{1500 \cdot 1,2 \cdot 1,15}{1140 \cdot 0,8} = 2,$$

$$n_{\text{извести}} = \frac{7,050 \cdot 1,4 \cdot 1,15}{1140 \cdot 0,8} = 9,$$

$$n_{\text{п.шпат}} = \frac{0,0478 \cdot 0,6 \cdot 1,15}{1140 \cdot 0,8} = 0,3,$$

$$n_{\text{магн.порошка}} = \frac{2,250 \cdot 0,6 \cdot 1,15}{1140 \cdot 0,8} = 1,3.$$

Кількість шихтових кранів дорівнює 4шт.

Кількість мостових (ливарних) кранів у розливочному прольоті можна розрахувати по формулі, приймаючи величину коефіцієнта нерівномірності (к) для цеху із двома встановленими печами рівній 1,2. Заборгованість крана на одну плавку визначається з обліком наступних виконуваних ним робіт:

– взяття ковша зі сталевоза й установка на стенд для позапічної обробки - близько 3 хв.

– міжплавочна підготовка ковша – при підготовці ковша кран виконує п'ять перестановок ковша тривалістю по 3–4 хв. кожна:

– збирання шлаків – при вивозі шлакових ківшів подовжненим шляхом розподільного прольоту кран виконує наступну роботу: перестановка ківша з шлакового візка на стенд, перестановка зі стенда на шлаковоз, що вивозить ковші із цеху й потім зворотні перестановки спороженого ківша, тобто чотири перестановки на один шлаковий ківш тривалістю по 3 хв. кожна. Крім того,

кран виконує допоміжні роботи – обслуговування установок позапічної обробки, транспортування вогнетривів та ін. Заборгованість крана на цих роботах можна прийняти 10–20 хв./пл.

Кількість установок для вакуумування вибирають із урахуванням потреби в подібній обробці сталей виплавленого сортаменту; при цьому враховують, що тривалість вакуумування одного ковша становить 20 хв. а підготовки установки до прийому наступного ковша – біля 30 хв.

Кількість мостових (ливарних) кранів у розливочному прольоті:

$$n = \frac{30 \cdot 51 \cdot 1,2}{1140 \cdot 0,8} \approx 2.$$

Приймаємо 2 мостових крани.

Обсяг бункерів для зберігання шихтових матеріалів визначають за формулою:

$$V = \frac{(Q_c K_z)}{qh},$$

де  $Q_c$  – добова витрата матеріалу, т/діб;

$q$  – величина насипної маси матеріалу в бункері т/м<sup>3</sup>;

$K_z$  – норма запасу матеріалу в бункері, число діб;

$h$  – коефіцієнт заповнення бункера, рівний 1,2 для металевої шихти й 0,8 для сипучих матеріалів.

$$V_{\text{лома}} = \frac{1500 \cdot 2}{2 \cdot 1,2} = 1250 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{вапно}} = \frac{7,05 \cdot 2}{0,8 \cdot 0,8} = 22 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{п.шпат}} = \frac{0,0478 \cdot 5}{0,8 \cdot 1,7} = 1,75 \text{ м}^3,$$



$$V_{\text{маг.порошок}} = \frac{2,25 \cdot 5}{0,8 \cdot 1,9} = 7,4 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{лома}} = \frac{1500 \cdot 2}{2 \cdot 1,2} = 1250 \text{ м}^3.$$

Феросплави доцільно зберігати на цеховому складі тому що вони є дорогими матеріалами.

#### 1.4 Визначення кількості та ємності печей в електросталеплавильному цеху

В електросталеплавильному цеху встановлені печі ДСВ-50 та ДСП-50. Кількість встановлюваних у ЕСПЦ печей можна визначити із співвідношення:

$$n = \frac{P_u}{P_n},$$

де  $P_u$  і  $P_n$  – річна продуктивність відповідно електросталеплавильного цеху й однієї електросталеплавильної печі.

Річну продуктивність однієї печі визначаємо за формулою:

$$P_n = \frac{T \cdot 24 \cdot a \cdot n_{\text{дiб}}}{100t},$$

$$P_n = \frac{50 \cdot 24 \cdot 97338}{100 \cdot 2,50} = 157373 \text{ т/рік},$$

де  $T$  – ємність печі (по масі рідкої сталі), т;

$t$  – тривалість плавки, год.;

$a$  – вихід придатних зливків по відношенню до маси рідкої сталі, %;

$n_{\text{дiб}}$  – кількість робочих діб на рік, доба;

24 – кількість годин у добі, год./добу.

Вихід придатних зливків при сифонному розливанні становить 97,0–98,5%. Кількість робочих діб у році для печей з вогнетривкою футеровкою стінок за нормативними даними становить 333-348 діб для печей ємністю від 50 до 60 т (у цих межах  $n$  зростає в міру зниження ємності печі). Кількість робочих діб печі на рік являє собою різницю між календарним часом (365 діб) і часом простою печі на холодних ремонтах; відповідно до норм на печах ємністю 50–60 т раз в 1–2 роки повинен проводитися капітальний ремонт, що включає заміну поду, тривалістю 8–10 діб і холодні ремонти, що включають заміну футеровки стін, тривалістю 18–24 год. через 15–20 діб. При застосуванні водоохолоджуваних стінових панелей число робочих діб печі в році збільшується у зв'язку зі зменшенням числа ремонтів стінок:

$$n = \frac{210000}{157373} = 1,33 .$$

Дипломним проектом передбачається встановити в проектованому сталеплавильному цеху 4 печі типу ДСВ місткістю 50 тонн, так як коефіцієнт завантаження обладнання не може бути близький до 100% [3]–[6].

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Сталь 30ХГСА: призначення, галузь застосування та фізико-механічні властивості

Конструкційні сталі широко застосовуються для виготовлення різних машин, механізмів і споруд і тому до них пред'являються високі вимоги по механічних властивостях і хладостійкості. Основною характеристикою цих сталей є високі статичні і динамічні властивості, які досягаються в результаті легування і термічної обробки.

Механічні властивості конструкційних сталей залежать як від їх хімічного складу (міри легування, вмісту вуглецю, шкідливих домішок, неметалічних включень і газів), так і від вигляду обробки (термічної, механічної і термомеханічної). Після термомеханічної обробки сталей з широкою зоною стійкості аустеніту їх межа текучості і міцності, подовження і відносне звуження значно підвищуються.

Зміна механічних властивостей при термообробці залежить від хімічного складу сталі. Всі легуючі елементи по впливу на величину області  $\alpha$ -твердого розчину заліза можна розділити на дві групи. Перша об'єднує елементи, що розширюють цю область (марганець, нікель, кобальт, а також вуглець, азот), друга, що звужують її (алюміній, кремній, титан, ванадій, хром, молібден, вольфрам, ніобій, титан, цирконій, церій, а також фосфор, миш'як, олово, сурма). Всього сьогодні для легування сталі використовується близько 40 елементів.

Конструкційна сталь повинна володіти щільною макроструктурою; нормованими мікроструктурою, розміром зерна, твердістю; гарантованою глибиною прожарювання. На зламах або протравлених темплетах не повинна мати усадочних раковин, рихлостей, міхурів, розшарувань, тріщин, неметалічних включень і флокенів, видимих без вживання приладів збільшення [5], [6].

Так сталь марки 30ХГСА відноситься до конструкційної легованої сталі (її ще називають хромансіль) та вміщує не більше 0,025% сірки та фосфору її

хімічний склад відповідає ДСТУ 7806:2015 (таблиця 1.1) [7].

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 30ХГСА [6]

Вміст елементу, %								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,28-0,38	0,9-1,2	0,8-1,1	до 0,9	до 0,025		0,8-1,1	до 0,8	~96

Вид поставки: сортовий прокат, у тому числі фасоний: ДСТУ 7806:2015, ГОСТ 2590-2006, ГОСТ 2591-2006, ГОСТ 2879-2006, ГОСТ 10702-78. Калібрований пруток ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 7417-75, ГОСТ 1051-73, ГОСТ 10702-78. Шліфований пруток та сребрянка ГОСТ 14955-77. Полоса ГОСТ 103-2006. Поковки та ковани заготовки ГОСТ 8479-70, ГОСТ 1133-71. Труби ГОСТ 8731-87, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 8733-74, ГОСТ 8734-75, ГОСТ 21729-76, ГОСТ 13663-86, ГОСТ 9567-75. Лист товстий ГОСТ 11269-76. Лист тонкий ГОСТ 11268-76.

Замінниками сталі 30ХГСА є сталі марок 40ХФА, 35ХМ, 40ХН, 25ХГСА та 35ХГСА [7].

Закордонними аналогами сталі 30ХГСА є сталі 30ChGSA (Болгарія), 30HGS, 30YGSA (Польща) та 14331 (Чехія).

Використання в промисловості: різні деталі: вали, осі, зубчасті колеса, фланці, корпуси обшивки, лопатки компресорних машин, що працюють при температурі до 200 °С, важелі, штовхачі, відповідальні зварні конструкції, що працюють при знакозмінних навантаженнях, кріпильні деталі, що працюють при низьких температурах.

Термообробка: Гартування 880 °С, олива. Відпускання 540 °С, вода.

Температура кування: початку 1240 °С, кінця 800 °С.

Перетини до 50 мм охолоджуються на повітрі, від 51 мм до 100 мм - в ящиках.

Твердість матеріалу:  $HV \cdot 10^{-1} = 229$  МПа.

Температура критичних точок:  $A_{c1}=760$ ,  $A_{c3}(A_{cm})=830$ ,  $A_{r3}(A_{r_{cm}})=705$ ,

$Ar_1=670$ ,  $Mn=352$ .

Зварюваність матеріалу: обмежено зварювана.

Рекомендується підігрів і подальша термообробка.

Флокеночутливість: чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості: схильна.

Фізико-механічні властивості сталі 30ХГСА приведені у таблицях 2.2–2.8 [8]–[10].

## **2.2 Технологічна схема виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА**

Технологічна схема виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА, приведена на рис. 2.1 та 2.2.

Конструкційну сталь виплавляють головним чином в електродугових печах з основною футеровкою. При виплавці конструкційної сталі методом повного окислення технологічний процес відбувається наступним чином.

Початковий технологічний процес виплавки сталі аналогічний процесу плавок інших легованих сталей. Він передбачав проведення повного окислення домішок і рафінування ванни під білим шлаком. Основні положення цієї технології були розроблені в довоєнний час для плавки сталі в невеликих печах (5–6 т). Шихту складають з чистого вуглецевого лому і передільного чавуну з розрахунку отримання в першій пробі 0,8–0,12% С, < 1,50% Mn, 10,0–11,0% Ni. Окислювальний період проводять до отримання в металі не більше 0,2–0,22% С, після чого шлак начисто скачували. Отримання марганцю в процесі кипіння ванни підтримувалося не менше 0,20% систематичними присадками феромарганцю. Загальна тривалість окислювального періоду становила близько 2 год.

Після скачування шлаку давали металевий марганець, сухий річковий пісок для утворення під електродами тонкої плівки шлаку для запобігання металу від науглецювання, а потім вапно і плавиковий шпат.

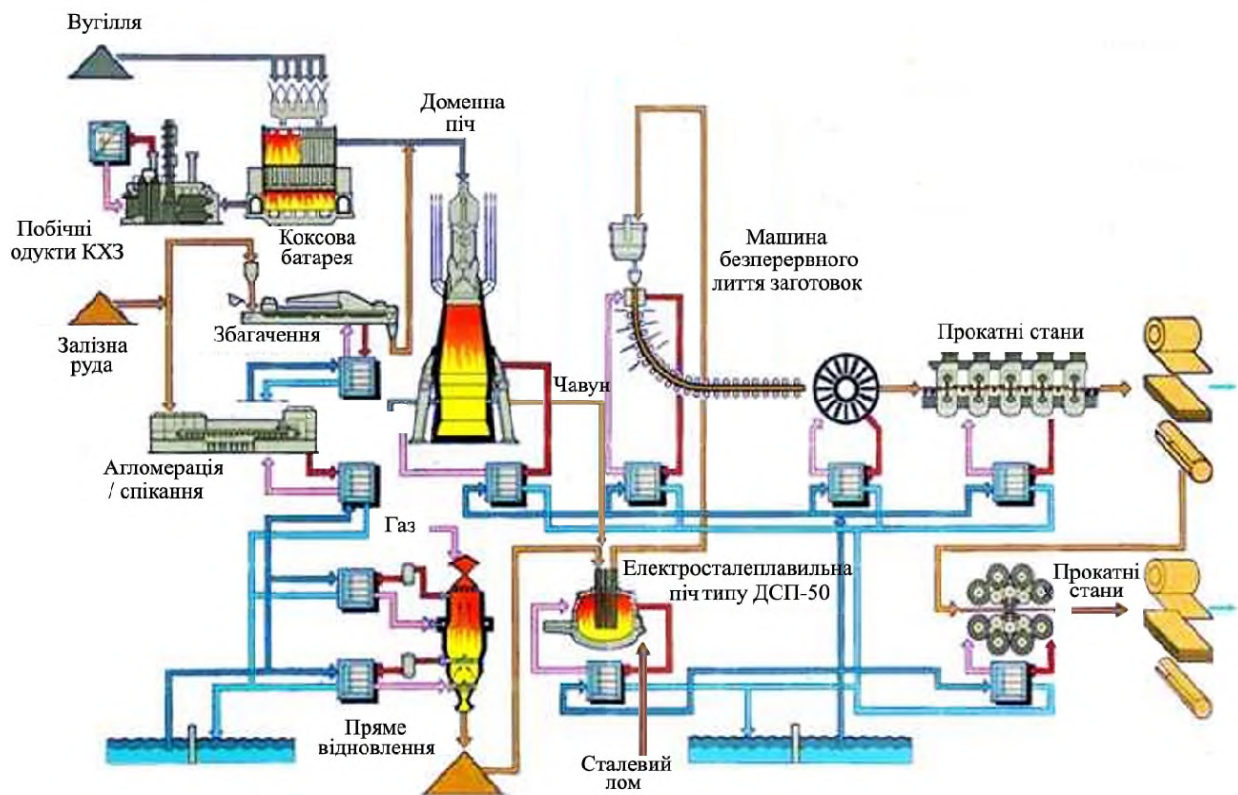


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва електросталі (на прикладі сталі марки 30ХГСА)

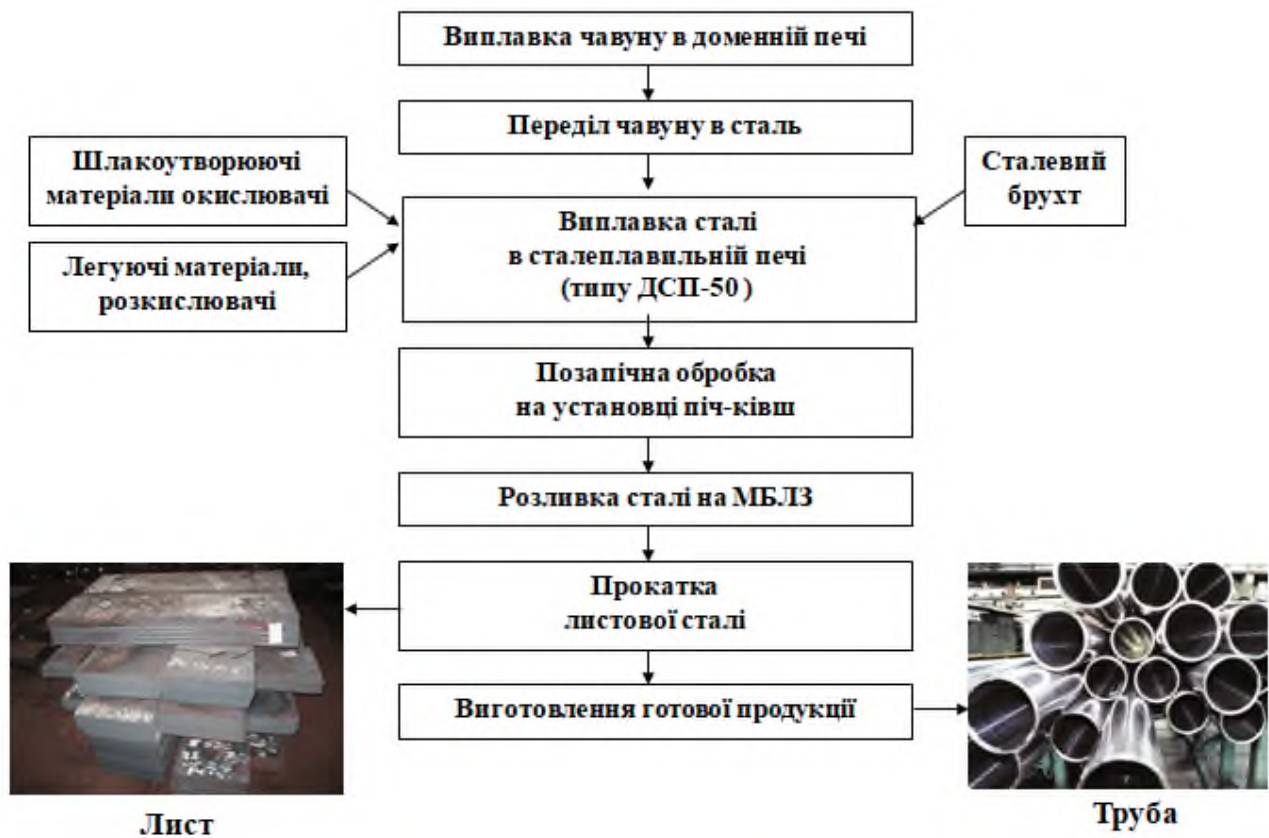


Рисунок 2.2 – Технологічна схема виробництва сталі 30ХГСА

Таблиця 2.2 – Загальні механічні властивості сталі 30ХГСА

ГОСТ	Стан поставки, режим термообробки	Перетин, мм	КМ	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	KCU, кДж/м <sup>2</sup>	НВ (HRC <sub>A</sub> ), н.б.
ГОСТ 4543-71	Пруток. Гартування 880 °С, олива. Відпускання 540 °С, вода або олива.	25		830	1080	10	45	49	
ГОСТ 8479-70	Поковки. Гартування. Відпускання.	до 100	490	490	655	16	45	59	212-248
		100-300	490	490	655	13	40	54	212-248
		до 100	540	540	685	15	45	59	223-262
		до 100	590	590	735	14	45	59	235-277
		100-300	590	590	735	13	40	49	235-277
		до 100	640	640	785	13	42	59	248-293
до 100	675	675	835	13	42	59	262-311		
	Гартування від 860 °С до 880 °С, олива. Відпускання від 200 °С до 250 °С, повітря.	30		1270	1470	7	40		(43-51)
	Гартування від 860 °С до 880 °С, олива. Відпускання від 540 °С до 560 °С, вода або олива.	60		690	880	9	45	59	225



Таблиця 2.3 – Механічні властивості сталі 30ХГСА в залежності від перетину

Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_n$ , МПа	$\delta_{5,2}$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Гартування 880 °С, олива. Відпускання 600 °С, вода					
30	880	1000	12	50	69
50	760	880	12	50	69
80	740	860	14	50	78
120	670	820	14	50	78
160	590	740	14	50	78
200	530	720	14	45	59
240	490	710	14	45	59

Таблиця 2.4 – Механічні властивості сталі 30ХГСА в залежності від температури відпускання

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_n$ , МПа	$\delta_{5,2}$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Діаметр від 20 мм до 70 мм, гартування 880 °С, відпускання. Після відпускання охолодження у воді.					
200	1570	1700	11	44	487
300	1520	1630	11	54	470
400	1320	1420	12	56	412
500	1140	1220	15	56	362
600	940	1040	19	62	300

Таблиця 2.5 – Ударна в'язкість сталі 30ХГСА

T= +20 °С	T= -20 °С	T= -40 °С	T= -60 °С	T= -80 °С	Термообробка
69	55	41	35	23	Гартування 880 °С, олива. Відпускання від 580 °С до 600 °С. $\sigma_n=1000$ МПа

Таблиця 2.6 – Механічні властивості сталі 30ХГСА при підвищених температурах

Температура випробування, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{B2}$ , МПа	$\delta_{52}$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Пруток. Гартування 880 °С, оліва. Відпускання 560 °С					
300	820	980	11	50	127
400	780	900	16	69	98
500	640	690	21	84	78
550	490	540	27	84	64
Зразок діаметром 5 мм, довжиною 25 мм, прокатаний. Швидкість деформування 2 мм/хв. Швидкість деформації 0,0013					
700		175	59	51	
800		85	62	75	
900		53	84	90	
1000		37	71	90	
1100		21	59	90	
1200		10	85	90	

Таблиця 2.7 – Межа витривалості сталі 30ХГСА

$\sigma_{-1}$ , МПа	$J_{-1}$ , МПа	$n$	Термообробка
490	1666	10 <sup>7</sup>	$\sigma_B=1670$ МПа $\sigma_B=880$ МПа $\sigma_B=1080$ МПа Гартування 870 °С. Відпускання 200 °С Гартування 870 °С. Відпускання 400 °С
372	882	10 <sup>7</sup>	
470		10 <sup>6</sup>	
696			
637			
$\sigma_{400}^{1/100}=160$ МПа, $\sigma_{400}^{1/200}=588$ МПа, $\sigma_{500}^{1/100}=54$ МПа, $\sigma_{450}^{1/200}=451$ МПа, $\sigma_{400}^{1/200}=176$ МПа, $\sigma_{500}^{1/200}=255$ МПа, $\sigma_{500}^{1/200}=59$ МПа, $\sigma_{550}^{1/200}=118$ МПа			

Таблиця 2.8 – Фізичні властивості сталі 30ХГСА

T (Град)	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\alpha \cdot 10^{-6}$ , 1/Град	$\lambda$ , Вт/(м·град)	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	C, Дж/(кг·град)	$R \cdot 10^{-3}$ , Ом·м
20	2,15		38	7850		210
100	2,11	11,7	38	7830	496	
200	2,03	12,3	37	7800	504	
300	1,96	12,9	37	7760	512	
400	1,84	13,4	36	7730	533	
500	1,73	13,7	34	7700	554	
600	1,64	14,0	33	7670	584	
700	1,43	14,3	31		622	
800	1,25	12,9	30		693	

Ферохром марки ФГ 001А вводили в кілька прийомів в добре нагрітий метал. Розплавлення ферохрому тривало 1,5–2 год. Після розплавлення ферохрому продовжували розкислення ванни меленим феросиліцієм до отримання світлого розсипного в порошок шлак.

Основним недоліком цього методу була необхідність сильного нагрівання металу перед присадкою ферохрому, а потім довгому плавленню його і знову нагрівання ванни до необхідної при випуску температури. Це призводило до сильного зносу футеровки печі і особливо зводу, який у той час викладався тільки з динасової цегли і на плавці сильно оплавлявся.

Оплавлення своду позначалося на шлаках, вони ставали кислими, що вимагало велику кількість присадок. Утворювалося велика кількість шлаку, що в свою чергу затягувало розплавлення ферохрому і порушувало нормальний хід рафінування.

Надмірно велика кількість, під час рафінування, вапна, яке осіло, сприяло поглинанню металом водню. У результаті сталь виходила насиченою газом, зливки не завжди могли бути придатними для подальшого переділу. Були випадки, коли на плавці відбувалося проїдання металом подини або укосів і злитки аварійно виходила з ладу.

Для позапічної обробки сталі 30ХГСА використовують установку пічківш (рис. 2.3), в якій з залізовуглецевого напівпродукту плавильної печі (ДСП-50) отримують сталь необхідного хімічного складу і якості, проводячи її розкислення, легування і рафінування.

Феросплави, що використовуються при позапічній обробці повинні мати фракцію від 5 мм до 50 мм та вологість менше 1%.

Алюміній для розкислення та легування металу використовується у вигляді первинного або вторинного алюмінію.

Готову рідку сталь випускають в сталерозливні ковші ємністю 50 т та 100 т.

Технологія виробництва сталі марки 30ХГСА передбачає проводити процес розливки сталі на машині безперервного лиття заготовок (МБЛЗ)

криволінійного типу з вертикальним кристалізатором (рис. 2.4).

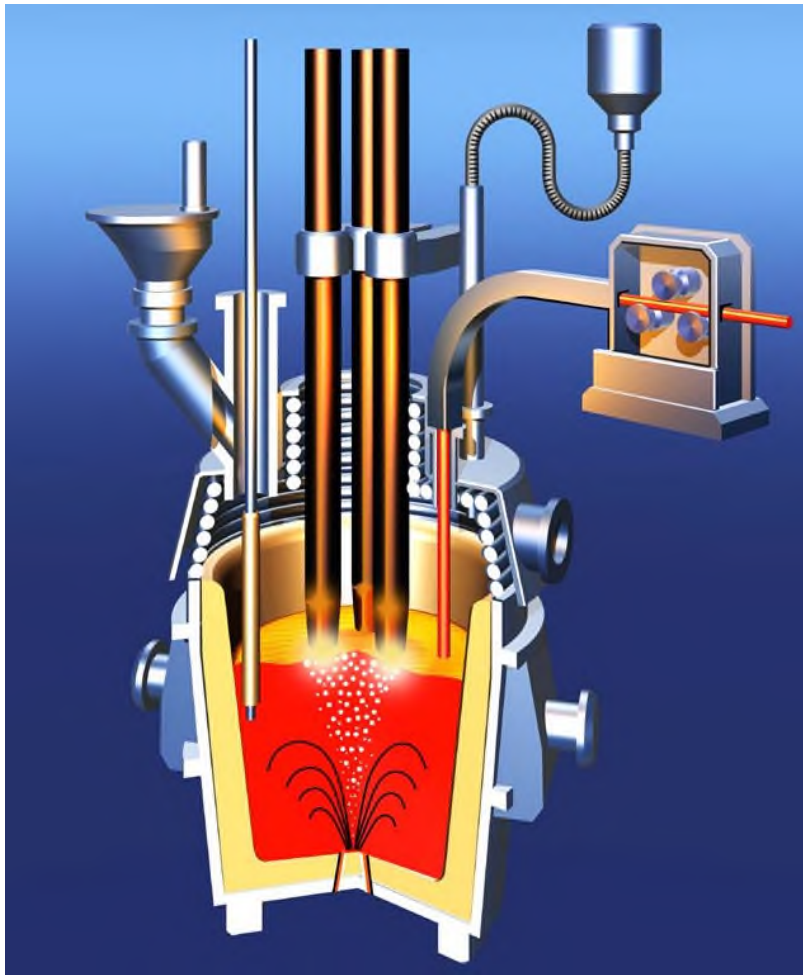


Рисунок 2.3 – Установка під-ківш

Із сталерозливного ковшу сталь поступає в проміжний ківш, що розподіляє метал в кристалізатори (рис. 2.4). Для зниження тепловтрат сталерозливного ковша його накривають футерованими кришками, а до початку розливання футерівку прогрівають до температури від  $900^{\circ}\text{C}$  до  $1200^{\circ}\text{C}$ .

На виході з машини безперервного лиття заготовок (після тягнуть-правильної кліті) заготівля розділяється на мірні довжини за допомогою газорізки. Потім сляб маркується: за допомогою маркувальної машини наноситься на вузьку грань сляба номер плавки та номер сляба. Перед процесом обробки сляб транспортують та охолоджують. Товщина сляба знаходиться в межах від 40 мм до 400 мм, а ширина – до 3,5 м.

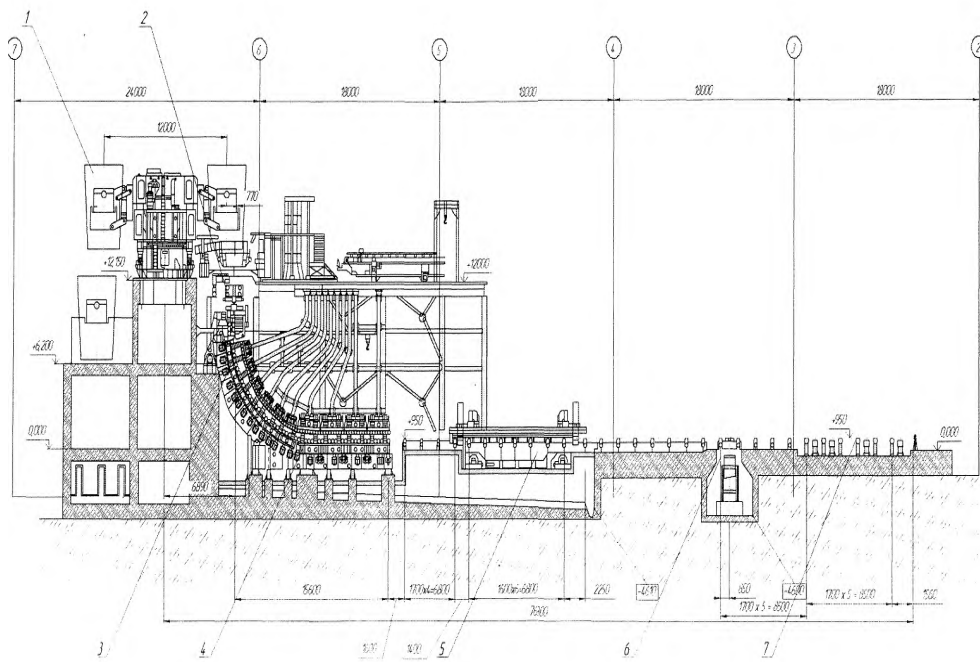


Рисунок 2.4 – Машина безперерного лиття заготовок криволінійного типу

### 2.3 Дослідження структури та властивостей сталі марки 30ХГСА

Гарячекатані листи піддаються пом'якшувальною термічної обробці – неповного відпалу (рис. 2.5). Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА товщиною 16 мм після відпалу представлена на рис. 2.6.

Неповний відпал сталі 30 ХГСА проводять при нагріванні до температури 7900, що вище АС1 (760 °С), але нижче АС3 (830 °С).

Слід зазначити, що цей відпал застосовують обмежено. При температурі неповного відпалу надлишковий ферит не зникає. Отже, неповний відпал не може усунути зазначених вище вад стали, які пов'язані з небажаними розмірами та формою надлишкового фериту.

Внутрішні напруги знімаються повністю, і сталь отримує знижену твердість і добре обробляється механічно. Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА завтовшки 16 мм після нормалізації в потоці стану 2300 наведено на рис. 2.7, а мікроструктура після відпалу в колпакових печах наведено на рис. 2.8.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд сталі 30ХГСА після процесу відпалу

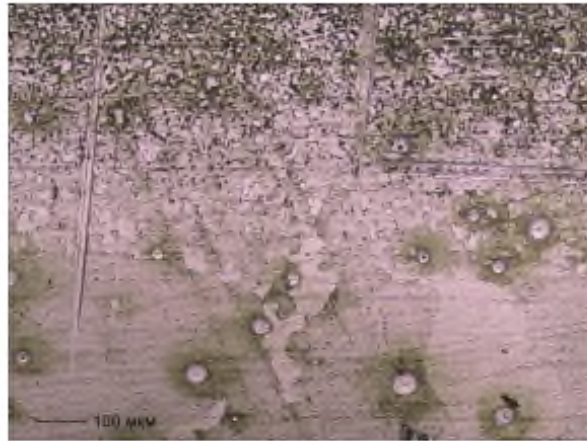


Рисунок 2.6 – Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА товщиною 16 мм після процесу відпалу x100

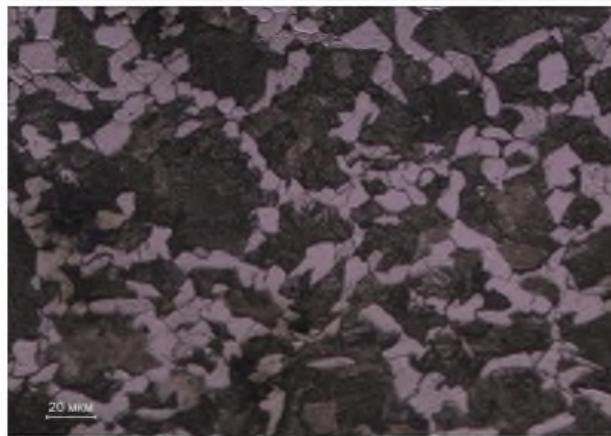


Рисунок 2.7 – Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА після процесу нормалізації

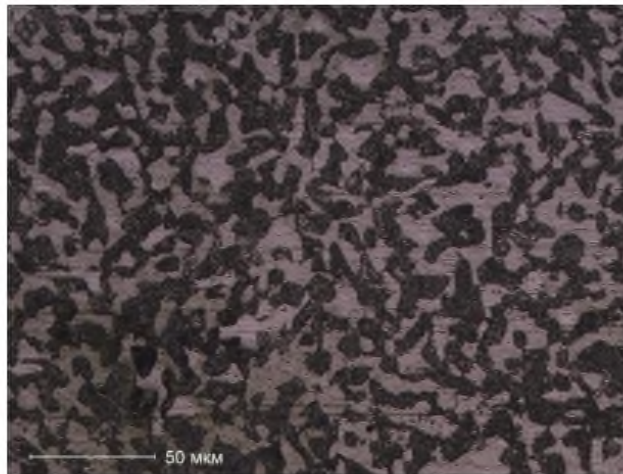


Рисунок 2.8 – Мікроструктура гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА завтовшки 16 мм після процесу відпалу в колпачкових печах



Розглянемо дослідження структури та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування на прикладі роботи Експериментальні зразки зі сталі 30ХГСА піддавалися лазерно-плазмовому насиченню азотом поверхневого шару в атмосфері суміші  $\text{Ar} + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2$  з використанням лазера TruDisk1000. Дані компоненти доцільно застосовувати через їх доступність, зручності перенесення в зону обробки, можливості управління процентним співвідношенням хімічних компонентів в широкому діапазоні. Розміри молекул базових компонентів порівнянні з розмірами кристалічної решітки оброблюваного матеріалу, що є необхідною умовою вибору компонента для поверхневого насичення наночастинками в якості модифікатора.

Результати досліджень (рис. 2.9 та рис. 2.10) показують, що в процесі обробки відбувається плавлення металу на поверхні, при цьому присутній хвилеподібний рельєф, сформований променем лазера, і відсутні подряпини.

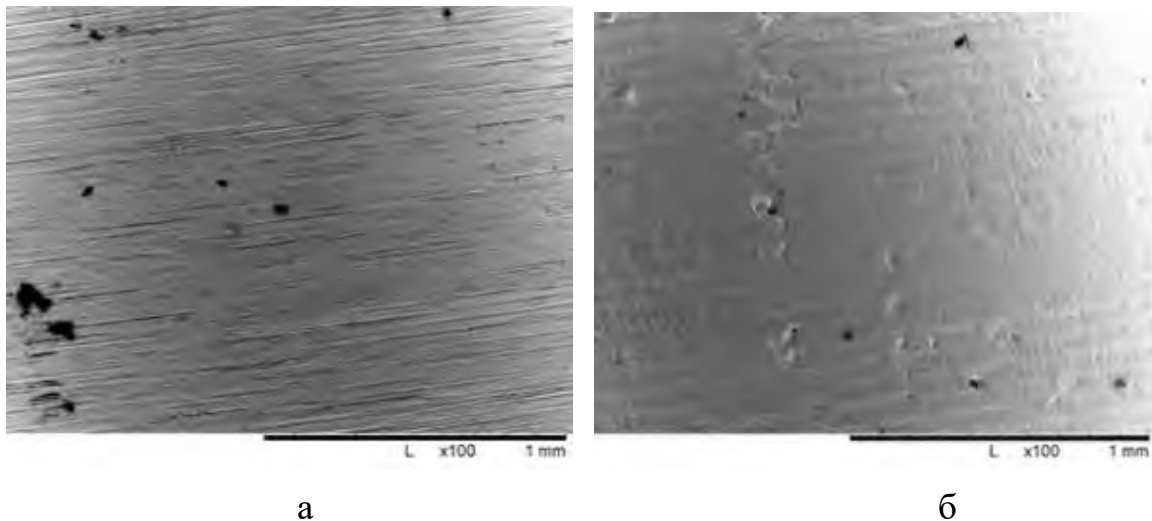
Структура сталі 30ХГСА феррито-перлитна. У поверхневому шарі, який піддався лазерно-плазмовому азотуванню, зона термічного впливу становить близько від 30мкм до 40 мкм.

На фотографії, отриманої в скануючому електронному мікроскопі (рис. 2.11), видно, що зоні термічного впливу відбулося подрібнення зерна і структура стала перлитною, а саме прошарок цементиту тонше і менше, ніж у вихідній структурі, карбіди виділилися рівномірно по всьому об'єму. Імовірно це тростит гарту. Це також можна визначити по твердості, а саме твердість цього шару не перевищує 380 НV. На рис. 2.12 представлена структура зони термічного впливу при більшому збільшенні.

На фотографіях мікроструктури, отриманих при зйомці поперечних шліфів, видно, що на поверхні зразків утворився тонкий білий шар товщиною від 3 мкм до 5 мкм, насичений азотом. При лазерно-плазмової обробці відбувається оплавлення поверхневого шару, і азот після дисоціації і освіти приповерхневої плазми розчиняється в рідкому залізі. Цей тонкий шар (рис. 2.11 (азотований шар)), насичений азотом і має структуру. На рис. 2.12

представлена структура цього шару при більшому збільшенні.

Визначення твердості та мікротвердості поверхневого шару проводилося з використанням мікротвердоміру HVS-1000. Підвищення твердості супроводжується підвищенням зносостійкості, що в свою чергу має збільшити довговічність виробу. На рис. 2.13 представлена зміна мікротвердості по товщині зразка. По твердості можна виділити три характерні зони, а саме азотований шар, зона термічного впливу і основа.



а – вихідна поверхня після чистової механічної обробки, б – поверхня після лазерно-плазмового азотування поверхневого шару

Рисунок 2.9 – Структура поверхні зразків

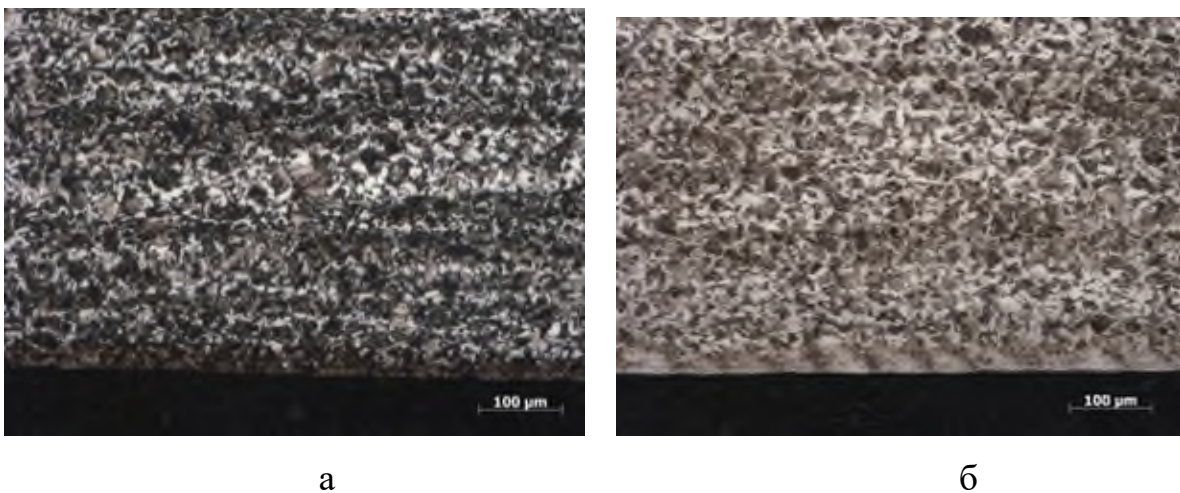
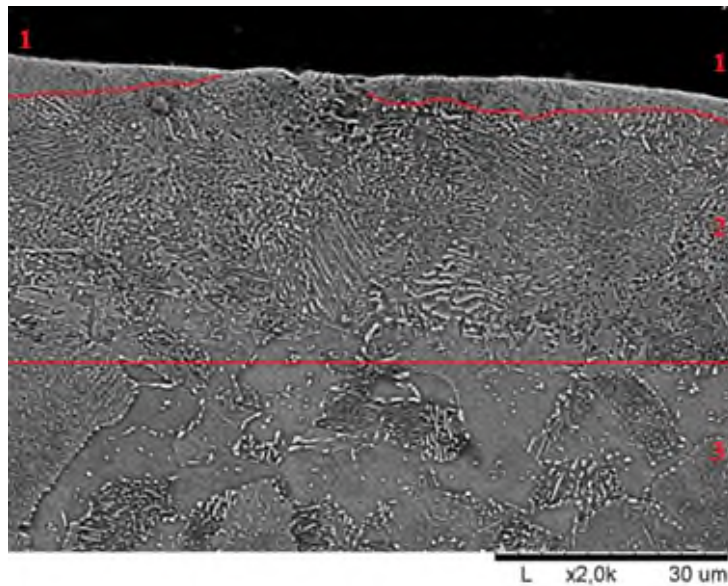


Рисунок 2.10 – Характерний вигляд поперечних шліфів після лазерно-

плазмової обробки (а, б)



1 – азотований шар; 2 – зона термічного впливу; 3 – вихідна структура

Рисунок 2.11 – Структура поверхні сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування

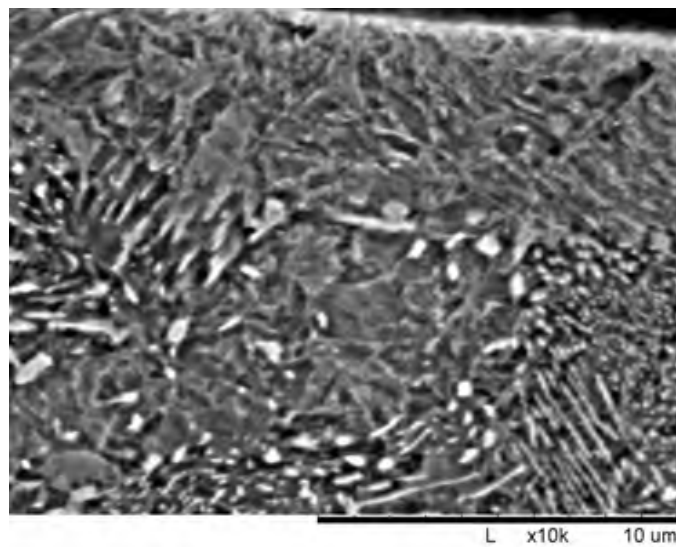


Рисунок 2.12 – Структура азотованого шару сталі 30ХГСА

За результатами визначення мікротвердості поверхні після лазерно-плазмової обробки встановлено, що отримані значення перевищують твердість основи зразка в 1,5 рази. Тобто така обробка дозволяє в тонкому поверхневому шарі значно підвищити мікротвердість, що в свою чергу позитивно вплине на

зносостійкість. Також змінюється структура зони, що знаходиться тепловому впливу при лазерній обробці. У цій зоні сформувалася структура тростіта гарту та підвищилася твердість [12].

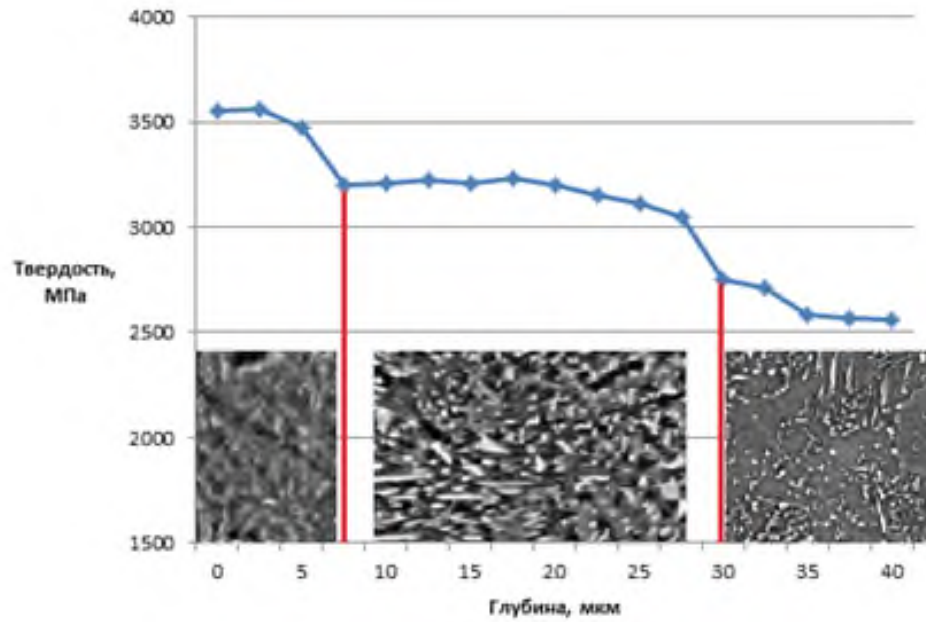


Рисунок 2.13 – Розподіл мікротвердості від краю вглиб зразка

### 3 КОНСТРУКЦІЙНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Вибір типу печі для електросталеплавильного цеху заданого виробництва литої заготовки

Електропечі є залишаються основним технологічними установками для здійснення процесів електрошлакового, плазмового, електронно-променевого, індукційного і дугового вакуумного переплавів. Вони дозволяють отримувати сталь високої чистоти з винятково високими механічними й технічними характеристиками.

На сьогодні мають місце дугові печі ємністю 0,5; 1,5; 3; 6; 12; 25; 50; 100; 150 і 200 тонн і розробляються проекти печей ємністю 300 і 400 тонн. Їх умовне позначення приведено в таблиці 3.1. Основні параметри електросталеплавильних печей представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Умовне позначення типів електросталеплавильних печей

Назва печі	Опис печі
ДСП-100	дугова сталеплавильна піч із поворотним склепінням місткістю 100 т;
ІСТ-0,06	індукційна сталеплавильна тигельна піч місткістю 60 кг;
ІЧТ-6	індукційна чавуноплавильна тигельна піч місткістю 6,0 т;
ДСВ-11, 2-Г37	дугова сталеплавильна вакуумна піч із діаметром кристалізатора 1120 мм і масою одержуваного злитка 37 т (буква Г позначає використання глухого кристалізатора без витяжки злитка);
РПЗ-63	рудовідновлювальна піч прямокутної форми, закрита, із трансформатором потужністю 63 мВА;
ЕПП-1А-250	електронно-променева піч, що має одну аксіальну гармату, потужністю 250 кВт.

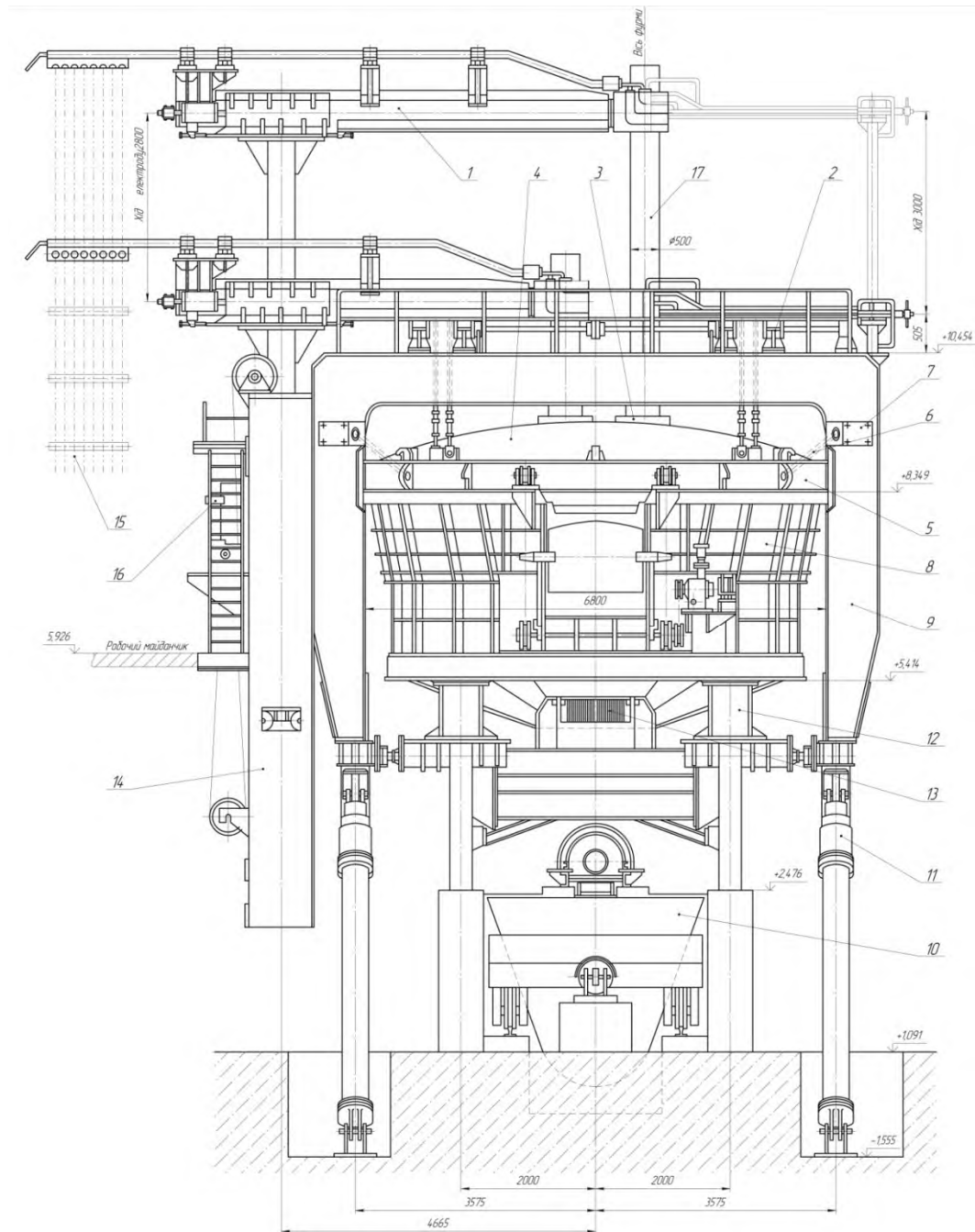
Таблиця 3.2 – Основні параметри електросталеплавильних печей

Технічний параметр	Одиниці виміру	ДСП-12	ДСП-25	ДСП-50	ДСП-100	ДСП-200
1. Номінальна потужність пічного трансформатора	мВ•А	8,0	12,5	20,0	32,0	50,0
2. Діаметр ванни на рівні порога	м	3,4	4,0	5,1	5,16	6,96
3. Глибина ванни від рівня порога	м	0,55	0,775	0,955	1,08	1,48
4. Діаметр електрода	м	0,35	0,40	0,50	0,55	0,61
5. Хід електрода	м	2,2	2,6	3,5	3,6	
6. Питома витрата електроенергії на розплавлювання 1 т шихти	кВт•год	470	460	440	415	400

Загальний вигляд дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50 приведено на рис. 3.3., а її розташування в електросталеплавильному цеху на рис. 3.4.

Плавку сталі ведуть в робочому просторі; на більшості печей він має склепіння і стінки, виконані з вогнетривкого матеріалу. Піч постачається трифазним змінним струмом. Струм підводиться водоохолоджуваними гнучкими кабелями і водоохолоджуваними мідними трубами. Піч спирається на два опорні сектори, які перекочуються по станині, нахил печі у бік випуску і у бік основного робочого вікна здійснюється за допомогою рейкового механізму. Плавильний простір електропечі має вогнетривку футерівку, яка створює ванну для металу и зменшує теплові втрати печі. Шихту завантажують зверху за допомогою бадді. Для відкриття плавильного простору склепіння печі, підвішений на ланцюгах, піднімають до порталу. Портал із склепінням і

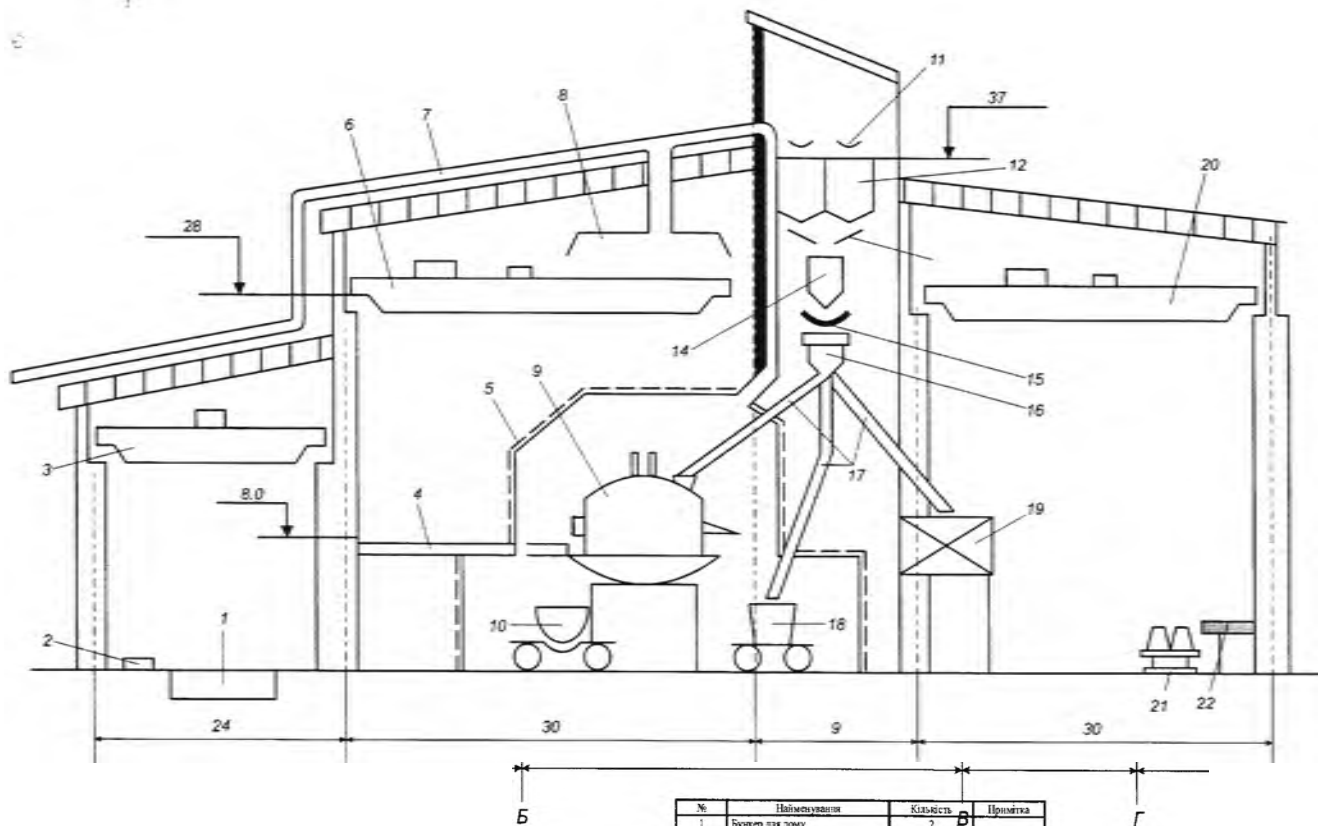
електродами відвертається у бік зливного жолоба за допомогою візка.



- 1 – електродотримач; 2 – механізм переміщення електроду; 3 – економайзери;  
 4 – склепіння; 5 – кільце склепіння; 6 – механізм приводу; 7 – привод;  
 8 – корпус (ванна) печі; 9 – гідравлічний циліндр; 10 – гідроциліндр;  
 11 – механізм нахилу; 12 – ролики; 13 – робоче вікно; 14 – механізм повороту  
 склепіння; 15 – рівень ходу електроду; 16 – шахта; 17 – електрод

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд дугової сталеплавильної печі типу ДСП-50

Передбачено обертання кожуха і печі на кут  $40^\circ$  в обидві сторони механізмом повороту корпусу. Піч має пристрій для електромагнітного переміщення рідкого металу. Статор пристрою встановлений під днищем печі в центральному отворі люльки [13].



№	Найменування	Кількість	Примітка
1	Бункер для золи	2	В
2	Шпильки для підвіски в контейнері		
3	Мостовий кран	3	
4	Робоча платформа		
5	Кожух герметичний	2	
6	Завагажувальний кран	2	
7	Трубопровід для отводу газів		
8	Золі	2	
9	Електроліт ДСБ-50	2	
10	Візок со шланговим ковшем	2	
11	Конвейєрні ступіні		
12	Електролітний бункер		
13	Електролітний жем'яничник		
14	Віли дозатор		
15	Повільнювач конвейєра		
16	Розподільні ворота		
17	Нахильні трубопроводи		
18	Сталева	2	
19	Бункер зберігання сировини матеріалів на участку металургійної обробки	1	
20	Розподільні ворота	2	
21	Піч з шланговим ковшем		
22	Розлива платформа		

Рисунок 3.4 – Розріз електросталеплавильного цеху



### 3.2 Вибір типу МБЛЗ та обчислення їх кількості для електросталеплавильного цеху заданого виробництва литої заготовки

На вибір типу МБЛЗ впливають багато факторів: задане річне виробництво, сортамент сталі, що виплавляється, планування цеху, конструктивні особливості й параметри машин, сортамент заготовок.

Продуктивність МБЛЗ визначається: маркою сталі, перерізом заготовки, швидкістю розливання, кількістю рівчаків та іншими факторами.

Приведемо приклад вибору типу МБЛЗ та обчислення їх кількості для електросталеплавильного цеху.

Вихідні дані для розрахунку:

1. Задане виробництво цеху (В), млн.т/р .....0,4
2. Сортамент розливних сталей.....конструкційна
3. Ємність сталерозливного ковша, т.....5
4. Ємність проміжного ковша відмісткості сталерозливного ковша, %.....10
5. Кількість плавок, розлитих методом “плавка на плавку”, %.....75

#### 3.2.1 Вибір швидкості розливки та обчислення протяжності зони вторинного охолодження

Враховуючи складний сортамент сталей, похилих до утворення гарячих тріщин при деформації заготовок в гарячому стані, приймаємо МБЛЗ вертикального типу.

Швидкість розливання металу залежить від багатьох факторів і, в першу чергу, від товщини заготовки.

Приймаємо переріз заготовки підшипникової сталі 100x100мм.

Для заготовок товщиною 100 мм приймаємо середню швидкість витягання:  $V_{cp} = 0,5 м / хв.$

При проектуванні МБЛЗ передбачується можливість збільшення

швидкості витягання. В розрахунку резерв швидкості прийнято 50%.

$$V_{рез} = V_{ср} + 0,5V_{ср}$$

$$V_{рез} = 1 + 0,5 \times 1 = 1,5 м / хв.$$

Час повного затвердження заготовки розраховуємо за формулою:

$$t_{кр} = \frac{b^2}{4k^2},$$

де  $b$  – товщина заготовки, мм;

$k$  – коефіцієнт твердіння, мм/хв<sup>1/2</sup>.

Прийнявши  $k=28$  мм/хв<sup>1/2</sup>, отримуємо:

$$t_{кр} = \frac{100^2}{4 \times 28^2} \approx 3,2 хв.$$

Протяжність зони вторинного охолодження:

$$Z_{вт.охол.} = V_{рез.} \times t_{кр.}$$

$$Z_{вт.охол.} = 1,5 \times 3,2 = 4,8 м .$$

Протяжність тягнутої кліти приймаємо:  $Z_{т.к.} = 3 м .$

### 3.2.2 Розрахунок тривалості циклу роботи МБЛЗ

Приймаємо максимальну швидкість витягання:

$$V_{max} = 2 м / хв.$$

Час вводу затравки –  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{Z_{\text{ем.охол.}} + Z_{\text{м.к.}}}{V_{\text{max}}}$$

$$t_1 = \frac{4,8 + 3}{2} = 3,9 \text{ хв.}$$

Приймаємо час підготовки кристалізатора  $t_2 = 10 \text{ хв.}$  і подачі сталерозливного ковша на стенд  $t_3 = 3 \text{ хв.}$

Загальний час підготовки машини до розливання сталі:

$$t_{\text{загал. підгот.}} = t_1 + t_2 + t_3$$

$$t_{\text{загал. підгот.}} = 3,9 + 10 + 3 = 16,9 \text{ хв.}$$

Масова швидкість розливки на один рівчак:

$$q_p = a \times b \times V_{\text{сп}} \times g_p,$$

де  $a, b$  – розміри сторін прямокутного перерізу заготовки, м;  
 $g_p$  – щільність рідкої сталі ( $7,0 \text{ т/м}^3$ ).

Для заготовки перерізу  $100 \times 100 \text{ мм}$ :

$$q_p = 0,1 \times 0,1 \times 7 = 0,07 \text{ т/хв.}$$

Місткість проміжного ковша ( $m_{\text{проміж.ковша}}$ ) –  $10 \div 25\%$  маси рідкого металу в сталерозливному ковші.

Приймаємо місткість проміжного ковша  $10\%$ :  $m_{\text{проміж.ковша}} = 0,1 \times 50 = 5 \text{ т.}$

Час наповнення проміжного ковша при розливанні заготовок перерізу  $100 \times 100 \text{ мм}$ :

$$t_{\text{н.п.к.}} = \frac{m_{\text{проміж.ковша}}}{n_{\text{кр.}} \times q_p}$$

$$t_{н.п.к.} = \frac{5}{4 \times 0,07} \approx 17,9 \text{ хв.},$$

де  $n_{кр}$  – кількість кристалізаторів.

Час розливної плавки:

$$t_{розлив. плавки} = \frac{m_{сталерозлив.ковши}}{n_{кр.} \times q_p}$$

$$t_{розлив. плавки} = \frac{50}{4 \times 0,07} \approx 178,6 \text{ хв.}$$

Час закінчення видачі заготовки з МБЛЗ:

$$t_{з.в.з.} = \frac{Z_{вт.охол.} + Z_{т.к.}}{V_{сп}}$$

$$t_{з.в.з.} = \frac{4,8 + 3}{1} = 7,8 \text{ хв.}$$

80% металу у цеху буде розливатися методом “плавка на плавку”, а 20% одиничними плавками.

Тоді тривалість циклу розливання серії з  $n=4$  плавок:

$$t_{цикла} = t_{загал. підгот.} + t_{н.п.к.} + t_{розлив. плавки} \times 4 + t_{з.в.з.}$$

$$t_{цикла} = 16,9 + 17,9 + 178,6 \times 4 + 7,8 = 757 \text{ хв.}$$

Середня тривалість однієї плавки в серії:

$$t_{\text{однієї плавки серії}} = \frac{t_u}{n}$$

$$t_{\text{однієї плавки серії}} = \frac{757}{4} \approx 189 \text{ хв.}$$

Тривалість розливання однієї плавки:

$$t_{\text{одична плавка}} = t_{\text{загал. підгот.}} + t_{\text{н.п.к.}} + t_{\text{розлив. плавки}} + t_{\text{з.в.з.}}$$

$$t_{\text{одична плавка}} = 16,9 + 17,9 + 178,6 + 7,8 = 221 \text{ хв.}$$

Час середньої тривалості розливання однієї плавки по цеху:

$$t_{\text{ср.розлив. плавки}} = t_{\text{однієї плавки серії}} \times 0,8 + t_{\text{одична плавка}} \times 0,2$$

$$t_{\text{ср.розлив. плавки}} = 189 \times 0,75 + 221 \times 0,25 \approx 197 \text{ хв.}$$

Кількість робочих днів на рік:

$$A = 365 - 30 = 335 \text{ дн.},$$

де 30 днів – тривалість ремонтів (24 дні - профілактичний, 6 днів - капітальний).

Річна продуктивність однієї МБЛЗ:

$$E = \frac{335 \times 24 \times 60 \times 50 \times 0,98}{197} = 119988 \text{ т},$$

- де 24 – кількість годин за добу;  
 60 – кількість хвилин у годині;  
 130 – маса рідкого металу у ковші, т;  
 0,98 – вихід заготовок з рідкого металу;  
 121 – середня тривалість однієї плавки, хв.

Для забезпечення розливання річного виробництва 1,2 млн.т заготовок необхідно МБЛЗ:

$$H = \frac{B}{E}$$

$$H = \frac{40000}{119988} = 3,33 \approx 4 .$$

Приймаємо три МБЛЗ вертикального типу, чотирьохривчакову, з наповненням двох кристалізаторів з одного проміжного ковша.

Річна продуктивність трьох МБЛЗ:  $458640 \times 3 = 1375920$ .

Коефіцієнт використання потужності МБЛЗ [14]:

$$k = \frac{B}{E \times 4}$$

$$k = \frac{400000}{479952} \times 100\% = 83,34\% .$$

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

### **4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів електросталеплавильного цеху**

Сталеплавильне виробництво, в цілому, є одним з основних джерел забруднення повітряного басейну тепловими, газовими викидами і пилом. Електросталеплавильний цех характеризується складністю й різноманітністю технологічного процесу та механічного устаткування, у зв'язку із чим, у виробничому середовищі мають місце небезпечні фізичні й фізико-хімічні фактори. Для запобігання нещасних випадків і професійних захворювань розроблена інструкція з охорони праці для робітників різних професій, в тому числі для сталеварів, горнових, шихтовиків та інших. Вона встановлює вимоги безпеки при виконанні робітниками та службовцями покладених на них обов'язків, а також безпечного поведіння на робочих місцях і території цеху. Додержання необхідного рівня безпеки праці ускладнюється наявністю значної кількості ручної праці. Знизити рівень небезпек можливо за рахунок механізації і автоматизації праці.

Основними шкідливими чинниками в електросталеплавильному цеху є виділення великих кількостей тепла, пилу і газів, а також шум. Найбільша кількість тепла виділяється при виплавці і розливанні сталі, очищенні газів від пилу.

Шкідливим чинником виробничого середовища може бути наявність високих концентрацій пилу в повітрі робочої зони. Джерелами виділення пилу і газів є поверхні рідкого металу і шлаку з подальшою конденсацією і утворенням пилу дрібних фракцій. Заправка поду, укосів, заливка чавуну в піч і ряд інших операцій також супроводжуються виділенням пилу.

Можливе виникнення шуму механічного, термічного і аеродинамічного походження при виконанні деяких операцій.

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є пічний і розливний прольоти, а також відділення роздягання злитків. Підвищена теплова дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може спричинити порушення теплового балансу організму.

Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла. Потoki теплових випромінювань в електросталеплавильному цеху створюють інфрачервоні промені довжиною хвилі до 10мкм.

#### **4.2 Заходи щодо захисту від шкідливих і небезпечних чинників електросталеплавильного цеху**

Небезпечні та шкідливі чинники в цеху відносяться до фізичних факторів: рухаючі механізми, підвищена температура повітря робочої зони, шум, запиленість і загазованість на деяких робочих ділянках.

Досягненню нормативних показників сприяють інженерні рішення, що забезпечують комфортні умови праці та дозволяють безпечно експлуатувати технологічне обладнання.

Підвищена теплова дія на організм людини може призвести до перенапруження його терморегуляторних функцій і викликати порушення теплового балансу організму. При тривалій дії високих температур відбувається порушення водно-сольового балансу, яке може призвести до теплового удару.

На робочих місцях сталевара в районі пічного і розливного прольоту передбачено природну і механічну вентиляції. Ефективним засобом в боротьбі з теплонадлишками є аерація. Для здійснення аерації планується владнати два ряди отворів в поджовжніх стінах будівлі ЕСПЦ: перший ряд – на рівні 2 м від підлоги, другий – на рівні підкранових балок – 10м.

При потраплянні в організм людини через дихальні шляхи CO, із-за утворення карбоксигемоглобшу, різко знижується здатність крові переносити



кисень до тканин, тому може наступити кисневе голодування. Головним чином, це впливає на функції центральної нервової системи.

Сірчистий ангідрид володіє дратівливою дією. При контакті з біологічними органами він викликає запальну реакцію, причому насамперед страждають органи дихання, шкіра і слизисті оболонки очей.

Діоксид азоту потрапляє в організм через дихальні шляхи і може утворити в крові метгемоглобін. У робочих може виникнути кашель, задуха, задишка. У важких випадках може розвинутися набряк легенів. Спостерігаються також головні болі, серцева слабкість.

Для захисту робітників від дії шкідливих хімічних речовин у електросталеплавильному цеху передбачаємо наступні заходи: аспіраційні установки і витяжні зонти від джерел викидів шкідливих речовин. Разом з ретельною герметизацією всієї системи газопроводів і апаратури в газонебезпечних місцях встановлюється контроль за змістом шкідливих речовин в повітрі. Фільтруючі протигази служать для захисту органів дихання від шкідливої пари і газів. Як поглиначі застосовують активоване вугілля, силікагель, хемосорбенти.

Пил може шкідливо впливати на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в організм при диханні, при заковтуванні і через пори шкіри, пил може викликати різні професійні захворювання - пневмоконіози, фібрози, хронічні бронхіти, а також шкірні захворювання.

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів з герметизацією операцій, пов'язаних з пилоутворенням і аспірацією пилу з місць його утворення. Також застосовуємо засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратора ШБ-2 «пелюстка», який усуває дію пилу на організм працюючих.

Для захисту працюючих від шуму запроектуємо звукоізолюючі вбудовані приміщення - пости управління, кімнати відпочинку і т.п. Для зниження шуму агрегатів (електродвигунів) застосовуємо звукоізолюючий кожух, виготовлений з листів сталі завтовшки 2-3 мм, в який укладається або

весь агрегат, або його шумлячі вузли, а внутрішні поверхні облицьовуються звукопоглинальними матеріалами. Ослаблення шуму повітро(газо)-проводів досягається плавністю руху повітряного потоку, плавними переходами в місцях зміни напрямку трубопроводу, застосуванням глушників. Для засобів індивідуального захисту від шуму застосовуємо вкладиші протигаласливі «Беруши».

Інфрачервоне випромінювання впливає на функціональний стан людини, його центральну нервову систему. Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини стінки і колони, а також кабіни й пости керування теплоізолюємо. Для захисту від променистого тепла печі обладнуємо водоохолоджувальним склепінням і стінами у вигляді трубчастих панелей безперервно зрошуваних водою. На теплосприймаючу поверхню всіх панелей наносимо шар теплоізолюючої вогнетривкої маси для того, щоб зменшити втрати тепла через панель.

Особливістю роботи в ЕСПЦ є те, що періодично у полі зору експлуатаційного персоналу знаходяться розплавлені маси сталі, а також факели гарячого газу. Ці джерела мають високу яскравість, що різко відрізняється від навколишнього фону. На робочому місці сталевара застосовуємо сумісне освітлення. Як джерела світла вибираємо лампи розжарювання ФРЛ-500М, напругою 500Вт і світильники ГСР-400ВТ. У місцях зручних для обслуговування при великій кількості пилу застосовуємо пилонепроникні світильники типу СХ і ПГТ. Аварійне освітлення передбачаємо практично у всіх виробничих і прохідних приміщеннях. Для забезпечення можливості виконання ремонтних робіт, огляду внутрішніх порожнин застосовуємо переносне освітлення.

Оцінка факторів виробничого і трудового процесу проєктованого цеху дозволяє зробити висновок, що всі чинники виробничого середовища знаходяться у межах нормативних значень, крім інфрачервоного випромінювання. На майбутньому робочому місці сталевара згідно з картою умов праці інфрачервоне випромінювання перевищує нормативне значення і

відноситься до II ступеня небезпеки, тому необхідно розробити заходи щодо захисту від надмірного тепла.

Атестація робочого місця: робоче місце має в наявності 1 чинник II ступеню.

#### **4.3 Виробнича санітарія основного приміщення електросталеплавильного цеху, побутових та допоміжних приміщень**

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту (ДНАОП 0.00-3.01-98).

При відсутності засобів захисту шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань (силікоз, глухота), а також приводять до зросту патології з короткочасною втратою працездатності (теплові удари).

Мікроклімат оцінюється наступними параметрами: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання. Він підтримується за рахунок використання вентиляції і опалення в холодний та перехідний період року. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшення її концентрації в повітрі, все устаткування закрито зонтами (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою воздуховодів із пристроями для очищення повітря, що видаляється.

Також біля печей використовують природну вентиляцію. Тепле повітря надходить і видаляється через вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей), у яких як теплоносіїв використовують пару. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання.

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають санітарним вимогам передбачена місцева вентиляція деяких робочих місць.

Для забезпечення допустимих умов праці використовують колективні і індивідуальні засоби захисту.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною нещасних випадків й захворювань.

Для ремонту встаткування передбачене штучне освітлення. На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне. У цьому випадку проводяться роботи при аварійному відключенні робочого освітлення. Евакуаційне освітлення застосовують для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення. Охоронне освітлення використовують у неробочий час. Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі, сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ-1000) та світильники типу Астра.

Згідно БНіП II-4-79 для приміщень, у яких проводяться роботи IV розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається сумісне освітлення.

Природне освітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися за формулою:

$$KEO_{in}^4 = KEO_{in}^3 \times m \times e,$$

$$KEO_m^4 = 1,8 \times 0,9 \times 0,85 = 1,38\%,$$

де  $KEO_m^3$  – значення КПО для 3 поясу світлового клімату;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату;

$e$  – коефіцієнт сонячного клімату.

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75% максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

В цеху розташовано різноманітне обладнання, в якому при роботі виникає шум. За походженням шум буває механічний, виникаючий у результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому й робочому ході; аерогідродинамічний, що виникає при більших швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, виникаючий в результаті зіткнення твердих тіл; термічний, генеруємий при згоранні газоподібного палива в горілках і форсуночних пристроях.

Шум різної інтенсивності й частоти, довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, що сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги центральної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини. Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей безударними, зворотно-поступальні рухи - обертальними. Демпфірують коливання співударних деталей й окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, повстю, азбестом й ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь (ДСТУ 12.1.029-80 ССБП).

Часто шум виникає внаслідок вібрацій машин і механізмів. Для ослаблення вібрацій всі агрегати, де виникають коливання (діючі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), встановлюють на самостійних фундаментах,

віброізолюваних від підлоги й інших конструкцій будинків, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітряводам і трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів виробляється за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубку.

#### **4.4 Пожежна безпека**

Пічний проліт по пожежонебезпеці має категорію Г (негорючі речовини розпечені або розплавлені, і горючі речовини, що спалюються або утилізуються як паливо). Будівля цеху ставиться до II ступеня вогнестійкості (будівля з несучими конструкціями, що огорожені, із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитових негорючих матеріалів) згідно ДБН 1.1.-7.2002.

Межі вогнестійкості конструкцій

- несучі й сходові клітки – 2 год.;
- само несучі – 1 год.;
- зовнішні несучі – 0,25 год.;
- внутрішні несучі – 0,25 год.;
- колони – 2 год.;
- сходові площадки, щаблі, балки, марші сходових кліток – 1 год.;
- плити, настили й ін. несучі конструкційні перекриття – 0,75 год..

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ВП-10 (15 шт.), ВВ-2 (24 шт.), ВВП-1Д (28 шт.), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири й ін.). Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами й рукавами.

На території цеху забороняється:

- закривати й захищувати проїзди, під'їзди й підходи до приміщень, водопровідним і пожежним гідрантам;
- виключати окремі ділянки водогінної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, що не пройшли інструктаж пожежного техмінімуму;
- користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не по прямому призначенню;
- застосовувати відкритий вогонь при огляді встаткування й комунікацій.

#### 4.5 Інженерний розрахунок аерації цеху

Природна вентиляція здійснюється за допомогою аерації - організованого регульованого природного повітрообміну (рис. 4.1). Для аерації в цеху влаштовані три ряди отворів у поздовжніх стінах будівлі: перший ряд – на рівні 1м від підлоги, другий – 4,2м і третій – на рівні підкранових балок.

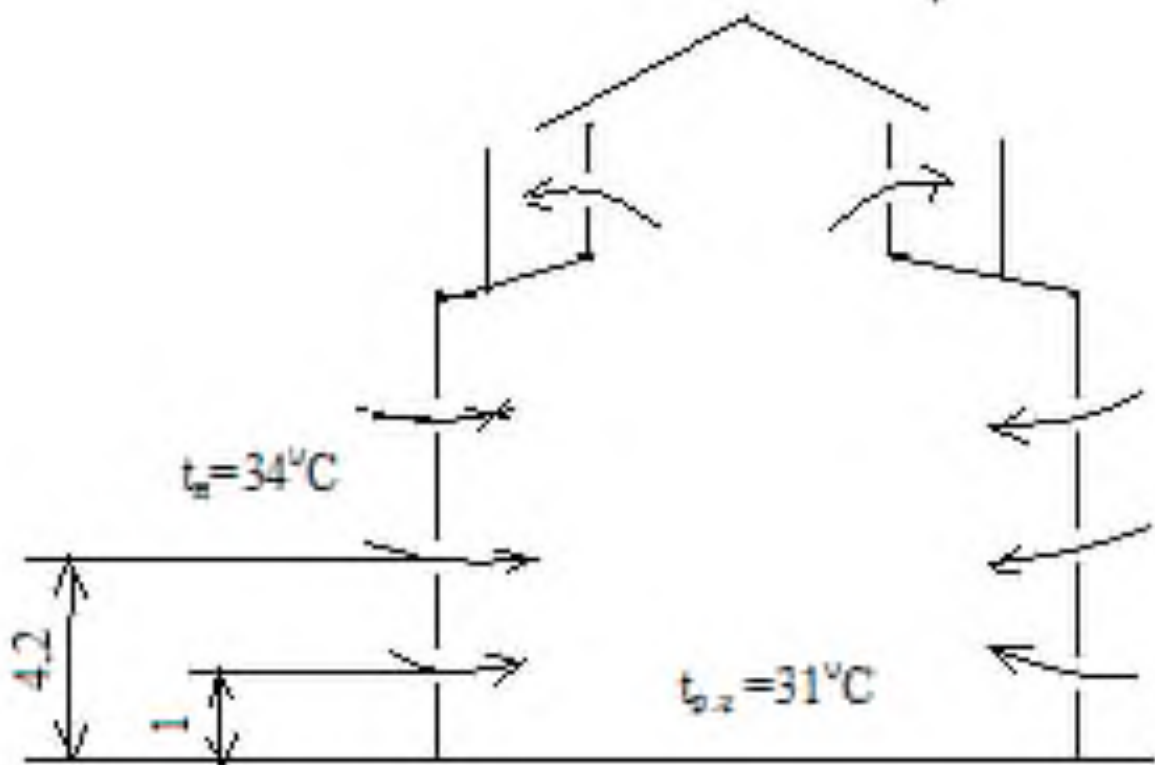


Рисунок 4.1 – Схема аерації електросталеплавильного цеху

Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін улітку, а взимку, закривши нижні прорізи, зменшити його й забезпечити за рахунок тепла приміщення підігрів вступника через середній проріз холодного повітря перш, ніж він дійде до робочих місць. На даху влаштований витяжний світлоаераційний ліхтар з кутом відкриття стулок  $80^{\circ}$ . При розрахунку загального повітрообміну на теплий період року (як самого несприятливого для аерації) переважною шкідливістю в ливарному дворі цеху є надлишки явної теплоти.

Кількість необхідного припливного повітря,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$L_{np} = \frac{Q_{я} - C_{\epsilon}(t_{pz} - t_{np})}{C_{\epsilon}(t_{yx} - t_{np})} + L_{mo},$$

де  $Q_{я}$  – надлишки явної теплоти в приміщенні цеху, кВт;

$L_{mo}$  – кількість повітря, що видаляє з робочої зони місцевими відсосами,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C_{\epsilon}$  – теплоємність повітря ( $C_{y} = 1,005 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{°C})$ );

$t_{pz}$  – температура робочої зони,  $^{\circ}\text{C}$  ;

$t_{np}$  – температура припливного повітря,  $^{\circ}\text{C}$  (для теплого періоду дорівнює температурі зовнішнього повітря);

$t_{yx}$  – температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення,  $^{\circ}\text{C}$ .

Температуру повітря, що видаляється,  $t_{yx}$  визначаємо за формулою,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$t_{yx} = \frac{t_{pz} - (1 - m)t_{np}}{m},$$

де  $m$  – коефіцієнт, обумовлений залежно від відношення площі, займаної тепловиділяючим устаткуванням до площі приміщення цеху (приймаємо рівним 0,6).



$$t_{yx} = \frac{32 - (1 - 0,6)20}{0,6} = 40^{\circ}C.$$

Надлишки явної теплоти в приміщенні цеху складаються з тепловиділень від печей і металу, що остигає.

Тепловиділення від печей, кВт:

$$Q_1 = N_y \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4,$$

де  $N_y$  – настановна або номінальна потужність устаткування, кВт;

$k_1, k_2, k_3, k_4$  – коефіцієнти використання настановної потужності (0,7–0,9); завантаження встаткування; одночасності роботи встаткування; переходу тепла в приміщення (0,1–0,7).

$$Q_1 = 2500 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 900 \text{ кВт.}$$

Тепловиділення від металу, що остигає, кВт:

$$Q_2 = \frac{G_m}{3600} \times C_m \times (t_n - t_k),$$

де  $G_m$  – годинна продуктивність цеху, кг/год.;

$C_m$  – теплоємність металу при середній температурі, кДж/кг·°С;

$t_n$  й  $t_k$  – відповідно початкова й кінцева температура металу, що остигає, °С.

$$Q_2 = 3500/3600 \cdot 0,425(1450-1200) = 103,3 \text{ кВт.}$$

Кількість теплоти вступник у приміщення від сонячної радіації, кВт:

$$Q_3 = g_{\text{ост}} \cdot F_{\text{ост}} \cdot A_{\text{ост}} \cdot 10^{-3},$$

де  $g_{\text{ост}}$  – величина радіації через  $1\text{ м}^2$  заклоєної поверхні (приймаємо рівної  $83\text{ Вт/м}^2$ );

$F_{\text{ост}}$  – площа поверхні скла,  $\text{м}^2$ ;

$A_{\text{ост}}$  – коефіцієнт, що залежить від характеристики установки скла (приймаємо рівним  $0,8$ );

$$Q_3 = 83 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 7 \text{ кВт.}$$

Загальна кількість теплоти  $Q$ , кВт:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

$$Q_{\Sigma} = 900 + 103,3 + 7 = 1010 \text{ кВт,}$$

$$t_{yx} = \frac{1010 - 1,005(32 - 22)}{1,005(40 - 22)} + 1,2 = 50,8 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Для оптимальної роботи на робочих місцях необхідно здійснювати приплив холодного повітря в розмірі  $50,8\text{ м}^3/\text{с}$ .

Розрахунок площі припливних  $F_{\text{пр}}$  і витяжних  $F_{\text{ввт}}$  прорізів приміщення цеху,  $\text{м}^2$ :

$$F_{\text{пр}} = G / \eta \sqrt{2gh_{\text{пр}} r_{\text{yo}} (r_{\text{n}} - r_{\text{yo}})},$$

$$F_{\text{ввт}} = G / m_2 \sqrt{2gh_{\text{пр}} r_{\text{yo}} (r_{\text{n}} - r_{\text{yo}})},$$

де  $\eta$ ,  $m_2$ , – коефіцієнти втрат, які приймаються  $\eta = 0,56$ ;  $m_2 = 0,57$ .

$h_{\text{пр}}$ ,  $h_{\text{в}}$  – відстань від нейтральної зони до центрів відносно припливних і витяжних прорізів, м;

$$h_{\text{пр}} = H_1 - h_B,$$

$$h_B = H_1 / (0,64 r_{\text{уд}} / r_{\text{н}} + 1) \quad ,$$

$$h_B = 8 / (0,64 \cdot 1,33 / 1,34 + 1) = 4,89 \text{ м},$$

де  $H_1$  – відстань по вертикалі між центрами припливних та витяжних прорізів;

$r_{\text{уд}}$ ,  $r_{\text{н}}$  – щільність, відповідно, що видаляє й зовнішнього повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$$r_{\text{уд}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{уд}},$$

де  $\alpha_{\text{уд}}$  – коефіцієнт, для теплого періоду року – 10, для холодного – 25;

$$r_{\text{н}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \alpha_{\text{н}},$$

де  $\alpha_{\text{н}}$  – коефіцієнт, для теплого періоду року – 13, для холодного – 28.

$$r_{\text{уд}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1,33,$$

$$r_{\text{н}} = 1,293 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 13 = 1,34,$$

$$h_{\text{пр}} = 8 - 4,89 = 3,11 \text{ м}.$$

Таким чином, визначимо величину площин аераційних ліхтарів:

$$F_{\text{пр}} = 50,8 / 0,56 \sqrt{2 \times 2,81 \times 3,11 \times 1,33 (1,34 - 1,33)} = 100 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{внт}} = 50,8 / 0,57 \sqrt{2 \times 2,81 \times 4,89 \times 1,33 (1,34 - 1,33)} = 79 \text{ м}^2,$$

Площа припливних отворів більше витяжних на 21%, що позитивно впливає на входження в приміщення цеху холодного повітря [15]–[17].

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сортаменту сталей, що виплавляються на сьогоднішній день, показав, на актуальність виплавки конструкційних марок сталей, зокрема, марки 30ХГСА для виробництва валів, осів, зубчастих коліс, фланців, корпусів обшивки.

2. Проаналізовано способи виплавки конструкційних сталей з підвищеними вимогами до якості та показано, що їх доцільно виплавляти наступними методами: переплавом з використанням кисню, з повним окисленням або у відкритих дугових печах з рафінуванням у печі. Визначено, що сталь марки 30ХГСА з точки зору технологічності процесу, отримання більш якісного металу доцільно виплавляти в дугових сталеплавильних печах методом повного окислення домішок.

3. Запропоновано технологічну схему виробництва конструкційної сталі марки 30ХГСА, запропоновано технологію її виплавки в дуговій сталеплавильній печі типу ДСП-50 методом повного окислення.

4. Проведено аналіз мікроструктури та механічних властивостей гарячекатаного прокату із сталі марки 30ХГСА після відпалу та визначено можливі види браку та заходи щодо його запобігання.

5. Приведено аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища в електросталеплавильному цеху.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могиталенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб.; за ред. акад. НАН України В. Л. Найдека. Київ: Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.
2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник / Д. Ф. Чернега та ін.; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ: Вища школа, 2006. 503 с.
3. Особенности совместного восстановления марганца и кремния из марганецрудодугольных формовок и брикетов / Н. М. Москалева, Т. Ф. Райченко, А. А. Чайченко и др. *Металлургия марганца* : Тезисы докладов II Всесоюзного совещания. Тбилиси, 1977. С.107–110.
4. Колесник М. Ф. Металургія чорних металів (ведення до спеціальності): навч. посіб. для студ. спец. 6.090401 «Металургія чорних металів. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 124 с.
5. Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів: підручник для ВНЗ/ В. А. Гладких та ін. Дніпропетровськ: Системні технології, 2004. 691 с.
6. Плавильні агрегати спеціальної електрOMETалургії. у 3 ч. Ч. 2. Плазмово-дугові печі: атлас : навч. посіб. для ВНЗ / уклад. Г. О. Ремізов; ред. Б. Є. Патон, Д.Ф. Чернега; НТУУ «КПІ», НАН України. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона. Київ : Політехніка, 2004. 100 с.
7. Плавильні агрегати спеціальної електрOMETалургії. у 3 ч. Ч. 3. Електронно-променеві печі, магнітодинамічні насоси: атлас: навч. посіб. для ВНЗ / уклад. Г. О. Ремізов; ред. Б. Є. Патон, Д. Ф. Чернега; НТУУ «КПІ», НАН України. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона. Київ : Політехніка, 2005. 78 с.
8. Марки стали и сплавов. URL: [http://metallicheskiy-portal.ru/marki\\_metallov](http://metallicheskiy-portal.ru/marki_metallov) (дата звернення: 4.04.2022).

9. Сталь марки 30ХГСА. URL: <https://areal-metal.ru/spravka/stal-30hgsa> (дата звернення: 4.04.2022).

10. Плавильні агрегати спеціальної електromеталургії. у 3 ч. Ч. 2. Плазмово-дугові печі: атлас : навч. посіб. для ВНЗ / уклад. Г. О. Ремізов; ред. Б. Є. Патон, Д.Ф. Чернега; НТУУ «КПІ», НАН України. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона. Київ : Політехніка, 2004. 100 с.

11. Плавильні агрегати спеціальної електromеталургії. у 3 ч. Ч. 3. Електронно-променеві печі, магнітодинамічні насоси: атлас: навч. посіб. для ВНЗ / уклад. Г. О. Ремізов; ред. Б. Є. Патон, Д. Ф. Чернега; НТУУ «КПІ», НАН України. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона. Київ : Політехніка, 2005. 78 с.

12. Павлов М. Д., Чердынцев В. В., Степашкин А. А., Данилов В. Д. Структура та властивості сталі 30ХГСА після лазерно-плазмового азотування та наноструктурування. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. №6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10986> (дата звернення: 02.06.2022).

13. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 192 с.

14. Воденніков С. А., Падалка В. П., Воденникова О. С. Технологія розливання і кристалізації сталі: навч.-метод. посібн. /ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 188 с.

15. Вахонєва Т. М. Основи охорони праці в Україні : навч. посіб. Київ : ВД «Дакор», 2019. 508 с.

16. Бердй Я. І. Основи охорони праці : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. Вид. 4-те перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга-Богдан, 2014. 240 с.

17. Геврик Є. О. Охорона праці : навч. посіб. для студ. внз. Київ : Ельга, НікаЦентр, 2004. 280 с.