

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

( назва факультету )

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

( повна назва кафедри )

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти магістерський

(другий (магістерський) рівень)

на тему Вдосконалення процесу виробництва на слябінгу 1150 з метою зменшення витрат

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт-з

Місюра Катерина Сергіївна

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Місюра Катерина Сергіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вдосконалення процесу виробництва на слябінгу 1150 з метою зменшення витрат

керівник роботи (проекту) Кругляк Дмитро Олегович к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “04” 03 2023 року № 1580-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) вдосконалити стан слябінг в умовах ПАТ «Запоріжсталь» для зменшення витрат при виготовленні слябів дозволять підвищити якість готової продукції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-розрахункова частина, Економічні аспекти проблеми удосконалення технології прокатки слябу, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення, презентаційний матеріал 12 слайдах (на 12 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 4</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 17.09.2023

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.09.- 12.10.2023	
2	<i>Реферат</i>	12-16.10.2023	
3	<i>Розділ 1</i>	29.10- 11.11.2023	
4	<i>Розділ 2</i>	30.10- 07.12.2023	
4	<i>Розділ 3</i>	17-31.11.2023	
5	<i>Розділ 4</i>	24-31.11.2023	
6	<i>Висновки</i>	04.12.2023	

Студент \_\_\_\_\_ К.С. Місюра  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Д.О. Кругляк  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювально-розрахункова записка до кваліфікаційної роботи магістра містить 80 с., 15 таблиць, 23 рисунка, 29 літературних джерел.

У аналітично-пошуковій частині кваліфікаційної роботи розглянуто технологію виробництва слябів на слябінгу 1150, особливості деформації високих розкатів.

У дослідницько-розрахунковій частині зроблено розгляд алгоритму розрахунку раціонального режиму деформації штаб. Виконано розрахунок трьох режимів деформації штаби перетином  $150 \times 1250$  мм і розрахунок продуктивності при цих режимах. Проаналізовано результати теоретичних досліджень режимів обтиснення.

У розділі "Висновки і економічна ефективність проведених теоретичних досліджень режимів деформації" розглянуто економічну ефективність від використання теоретично розрахованого режиму деформації слябів.

У розділі "Охорона праці та техногенна безпека" розглянуто шкідливі і небезпечні виробничі фактори. Розроблено заходи з поліпшення умов праці, електробезпеки, пожежної і техногенної безпеки.

Ключові слова: РАЦІОНАЛЬНИЙ РЕЖИМ, СЛЯБ, ЗЛИТОК, ОБТИСКНИЙ, КОЛОДЯЗІ, ОСЕРЕДОК, ПРОКАТКА, ПРОДУКТИВНІСТЬ, КІНЦЕВИЙ НАКАТ, РИБЯЧИЙ ХВІСТ, ЯЗИК.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА .....	7
1.1 Аналіз технологічного процесу виробництва на слябінгу 1150 .....	7
1.2 Нагрів металу та характеристика печей .....	10
1.3 Прокатка на слябінгу 1150 і стисла характеристика його обладнання .	14
1.4 Механічне устаткування обтискного цеху і його характеристика .....	20
1.5 «Вузькі місця» виробничого процесу .....	28
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....	31
2.3 Розрахунок режиму деформації та енергосилових параметрів прокатки сляба перетином 150 ×1250 мм .....	31
2.4 Аналіз результатів теоретичних досліджень режимів деформації .....	52
2.5 Визначення річного виробництва слябінга.....	56
3. ВИСНОВКИ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОВЕДЕНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕЖИМІВ ДЕФОРМАЦІЇ.....	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	65
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	65
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	67
ВИСНОВКИ .....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	78

## ВСТУП

В даний час в Україні слябінги 1150 встановлені на металургійних комбінатах "Запоріжсталь" (м. Запоріжжя) і у м. Маріуполі. У найближчі роки слябінги будуть як і раніше основними постачальниками слябів для отримання листопрокатної продукції [1].

В останні роки отримали розвиток машини неперервного лиття заготівель (МНЛЗ), що поставило під сумнів доцільність використання і подальшого розвитку слябінгів. Як показує техніко-економічний порівняльний аналіз діючих МНЛЗ з обтискними станами [2], розвиток обтискних станів не зупинився, а лише відносно загальмувався. Це тим паче помітно на фоні повсюдного впровадження МНЛЗ.

У нашій країні на металургійних заводах поки не вдається виключити з циклу виробництва металопрокату переділ, зв'язаний з прокаткою на слябінгах. Тому питання, зв'язані з розробкою і вдосконаленням технології прокатки на реверсивних станах, не втрачають своєї актуальності.

Досвід експлуатації і великі дослідження вітчизняних слябінгів у останні роки дозволили накопичити значний фактичний матеріал, який може вже зараз слугувати підставою для розробки загальних принципів більш досконалої технології, раціональних режимів прокатки і методик розрахунку механічних і технологічних параметрів з урахуванням специфічних особливостей деформації металу на універсальних слябінгах.

Від рівня раціональності технології прокатки залежать продуктивність стана, якість і собівартість прокату, безаварійна робота обладнання, а також можливості автоматизації технологічного процесу. Проектування технології прокатки на реверсивних станах потребує великого інженерного досвіду. Помилки призводять до значних втрат металу, а також до передчасного виходу з строю обладнання і в першу чергу електродвигунів головного приводу [3]. Все це тягне за собою втрату значних матеріальних коштів.

## 1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз технологічного процесу виробництва на слябінгу 1150

Для того, щоб розробити раціональний режим прокатки слябів, необхідно знати всі тонкощі технології виробництва слябів, а також характеристики обладнання.

Обтискний цех ПАТ "Запоріжсталь" призначений для виробництва товарних і передільних слябів. Цех має у своєму складі декілька основних дільниць (рис.1.1): нагрівальні колодязі, ділянку злиткоподачі, прокатне відділення, склад слябів. Виробничий відділ меткомбінату (заводу) видає виробничому бюро обтискного цеху наряд-завдання для кожної технологічної бригади з вказуванням номерів плавок; типу та числа зливків; марок сталей, розмірів прокатуємих слябів, замовника і призначення профілю (експорт, підкат і т.д.)[1].

У якості вихідного матеріалу при прокатуванні слябів використовують сталеві злитки, сортамент яких вказаний у таблиці 1.1.

На поверхні злитків повинні бути відсутні поздовжні і поперечні тріщини глибиною більше 4 мм, сітка від розгару виливниць більш 3 мм, потовщення злитка від розгару виливниць більше 20 мм, підливи між прибільною частиною і тілом злитка, а також підливи у нижній частині злитка висотою більше 15 мм. Злитки не повинні мати поясів, заворотів, надривів і кільцевих тріщин. До злитків полуспокійної і киплячої сталі пред'являють додаткові вимоги до глибини залягання пузирів: глибина залягання повинна бути не більше 8 мм. Велечина головної і доної обрізі для злитків спокійної сталі повинна складати не більше 18 і 6 %, для злитків киплячої і полуспокійної сталі не більше 8 і 4 %.

Таблиця 1.1 - Сортамент злитків, що прокатуються на стані слябінг

1150

Тип злитка	Перетин злитка, мм		Висота злитка, мм	Маса злитка, т	Ширина прокатуємих слябів, мм
	верх	низ			
кипляча, полуспокійна і нестаріюча сталь					
XV	720×960	780×1000	2300	11,9	850-930
1Б	720×1170	780×1200	2300	13,4	970-1160
2Б	720×1350	780×1400	2350	16,0	1170-1360
4А	720×1570	780×1600	2300	17,7	1370-1520
спокійна, низьколегована і високолегована сталь (зливки з прибільними надставками)					
XV	780×1000	720×960	3100	14,4	850-960
спокійна і низьколегована сталь злитки зі вставками з ЖСС (без прибільних надставок)					
1Б	720×1170	780×1200	2450	14,0	970-1160
2Б	720×1350	780×1400	2450	16,3	1170-1360
4А	720×1570	780×1600	2450	18,6	1370-1400нл 1370-1420сп
спокійна високовуглецева сталь (злитки з прибільними надставками)					
IX	640×990	580×942	2650	11,0	870-950
X	640×1100	580×1065	2650	11,8	960-1050
XI	640×1220	580×1196	2650	13,0	1060-1170
XII	640×1340	580×1305	2650	14,7	1180-1290
XIII	640×1480	580×1436	2650	16,2	1300-1400
спокійна високовуглецева сталь злитки зі вставками з ЖСС (без прибільних надставок)					
1Б	720×1170	780×1200	2450	14,0	970-1160
2Б	720×1350	780×1400	2450	16,3	1170-1360
4А	720×1570	780×1600	2450	18,6	1370-1400
Примітка - перетин злитків прийнято рівним номінальним внутрішнім розмірам виливниці.					



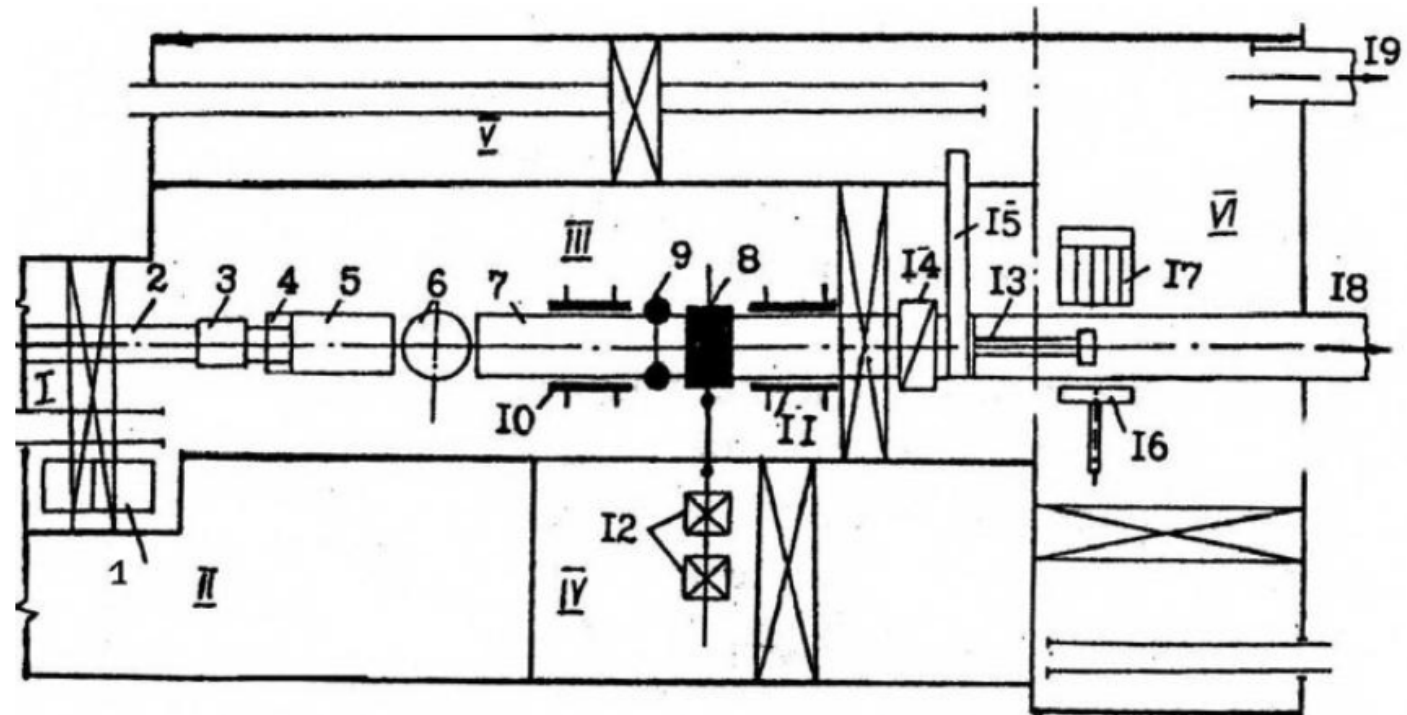


Рис. 1.1 Схема розташування обладнання слябінга: I - проліт нагрівальних колодязів; II - проліт контрольно-вимірювальної апаратури; III - проліт стана, IV - машинний зал; V - скрапний проліт; 1 - нагрівальні колодязі; 2 - шлях злитковоза; 3 - злитковізний візок; 4 - перекидач; 5 - приймальний рольганг; 6 - поворотний стіл; 7 - підвідний і робочий рольганги; 8 - кліть з горизонтальними валками; 9 - кліть з вертикальними валками; 10 - маніпулятор з кантователем; 11 - маніпулятор; 12 - головний привід; 13 -пересувний упор; 14 - ножиці; 15 - конвеєр обрізків; 16 - зіштовхувач; 17 штабелюючий пристрій; 18 - рольганг до неперервного широкоштабового стана (ШСГП); 19 - рольганг до печей ШСГП.

## 1.2 Нагрів металу та характеристика печей

У проліт нагрівальних колодязів злитки поступають безпосередньо з мартенівського цеху, зі складу мартенівського цеху, зі складу зливків обтискного цеху. Злитки подаються в основному у гарячому стані у відповідності із графіком поплавочно і рівномірно протягом зміни і лише у вертикальному положенні.

Усі гарячі злитки I групи марок сталей, як правило, поставляються на нагрівальні колодязі з "рідкою серцевиною", для чого час від кінця розливки до кінця посадки (час транспортування) може бути від 1 год. 10 хв. до 2 год. 20 хв. включно.

Доставка злитків III і IV груп марок сталі робиться за технологією горячого посаду ( час транспортування не менше від 2 год. 1 хв. до 2 год. 55 хв. у залежності від групи сталі і типу зливка).

Холодні злитки зі складу мартенівського цеху доставляються поплавочно у відповідності із завданням комбінату.

У 97% випадків злитки завантажуються в колодязі гарячим посадом - 700 - 920° С. В останній час максимальну температуру посаду збільшують до > 1000 ° С, коли серцевина злитка має рідку фазу, наявність якої дозволяє скоротити витрату палива на нагрів металу і здійснювати транзитну прокатку на ШСГП. Для нагріву злитків на меткомбінаті "Запоріжсталь" застосовують регенеративні нагрівальні колодязі (рис. 1.2). Час нагріву злитків в осередку залежить: від температури посаду, поперечного перерізу злитка, марки сталі, кількості злитків в осередку.

Всього у обтискному цеху нараховується 14 груп колодязів: групи № 1- 11, 13 і 14 складаються з чотирьох осередків і для зручності розміщення плавок і видалення рідкого шлаку зблоковані по схемі 2 - 2 і 3 - 1. Група № 12 з рідким шлаковидаленням складається з 6 осередків і зблокована за

схемою 3 - 3. Зазначені групи призначені для нагріву вуглецевих, низьколегованих і високовуглецевих, легуваних і спеціальних марок сталі.

У відділенні нагрівальних колодязів є один загальний газовий колектор і 3 повітряних (в перший колектор нагнітають повітря вентилятори груп №1 - 6, у другій - вентилятори груп № 7 - 11, в третій - № 12 - 14).

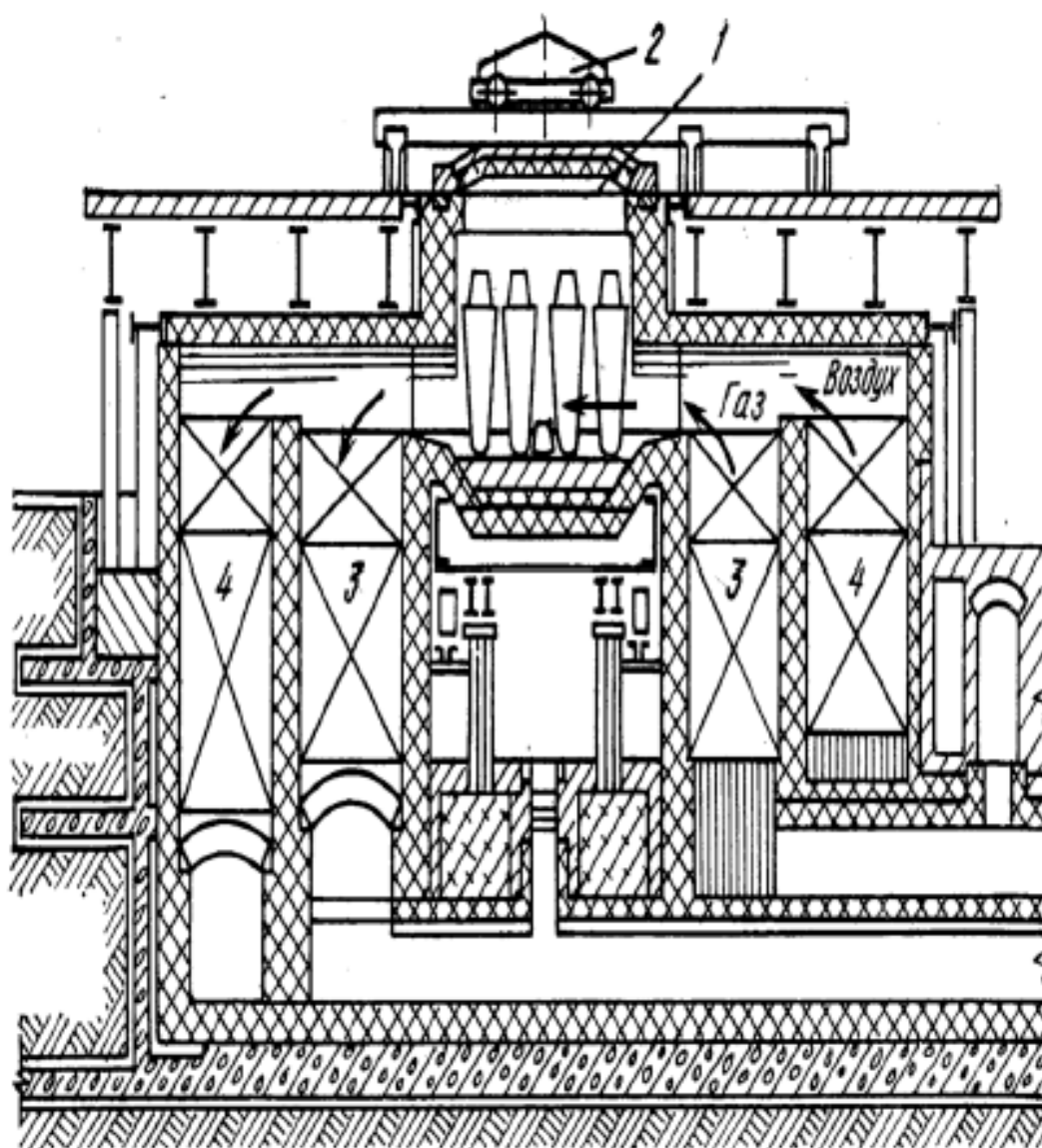


Рис. 1.2 Регенеративний нагрівальний колодязь: 1 - кришка; 2 - механізм для переміщення кришки; 3 - газовий регенератор; 4 - повітряний регенератор.

Основні розміри робочого простору осередків наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Розміри осередків нагрівальних колодязів

Номер групи	Довжина	Ширина	Висота
1 - 7, 12 - 14	6900	2100	3320
8 - 11	6600	2100	3320

Колодязі опалюються доменним газом з збагаченням коксовим або природним газами до калорійності суміші 900 - 950 ккал/м<sup>3</sup>. Вищевказана калорійність суміші забезпечується роботою вузла збагачення, встановленого на газопроводі доменного газу. Необхідну калорійність підтримують шляхом зміни витрати коксового і природного газів на вузлі збагачення.

Кожний осередок має індивідуальні перекидні пристрої: клапан золотникового типу на газовому тракті і клапан мотилькового типу на повітряному тракті.

Для прибирання продуктів згоряння кожна група має свою димову трубу, на групах № 1 - 11 висота труби - 50 м, на групах №12, 13 і 14 - 80 метрів.

У кожному осередку тяга регулюється шибером, встановленим в димовому борові.

Осередки груп № 1 - 14 обладнані шиберами нахильного типу, а групи № 12-14 мають додатково поворотний шибер, встановлений в загальному борові газів, що відходять.

Крім того всі групи обладнані автоматизованою системою управління нагрівання злитків, і кожна має локальний пульт.

Проліт нагрівальних колодязів обслуговують чотири кліщових мостових 20/15 -т крани і злитковіз. Вантажопідйомність злитковоза 20 т, швидкість руху 3 -6 м/с. Ці ж крани можуть доставляти нагріті злитки з

найближчих комірок до приймального рольгангу стана. Це скорочує час пауз подачі зливків до стана[1].

Схема розміщення злитків у осередку приведена на рисунку 1.3.

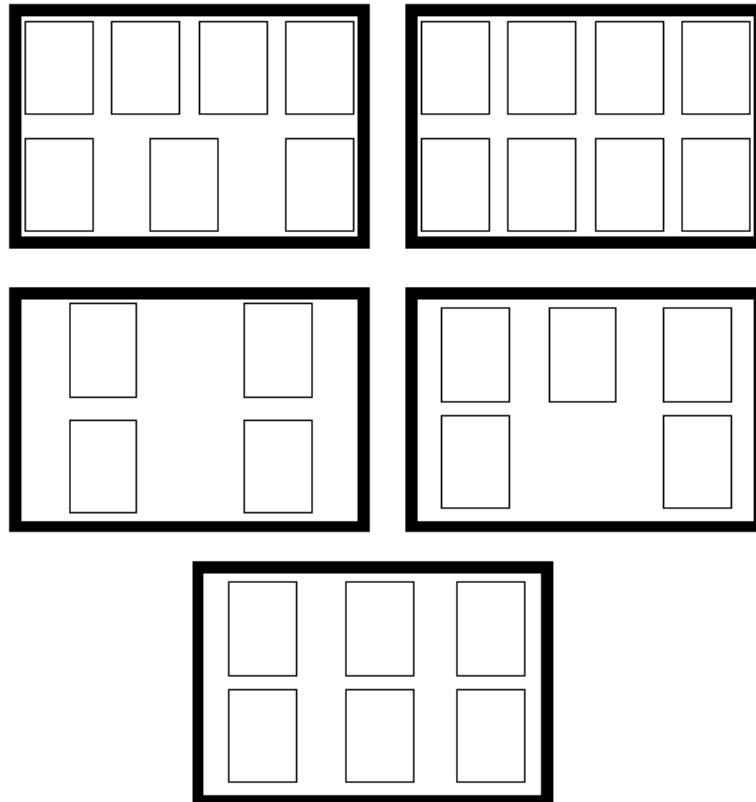


Рис. 1.3 Схема розміщення злитків у осередку.

При нагріванні злитків з низьколегованих сталей (10ХСНД, 14ХГСН, 25Г2С, 12ХГН, 12ГС, 10ХНДП і т. п.) час нагріву відповідно збільшують на 30-40 хвилин ( $t = 915 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Підвищення тривалості нагріву низьколегованих сталей обумовлено необхідністю запобігання появи термічних тріщин в тілі зливка. З цією метою зменшують температуру осередка до  $1360^\circ\text{C}$  в порівнянні з  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$  при нагріванні злитків з киплячих і напівспокійних сталей. При прокатуванні злитків легованих марок сталей час нагрівання збільшують з метою запобігання розтріскування зливків. Злитки маловуглецевих киплячих і напівспокійних сталей нагрівають в осередках до температур  $1200 - 1220^\circ \text{C}$ . Збільшення вмісту вуглецю і ряду легуючих добавок змінює пластичні властивості металу при деформації і тому

температуру нагріву встановлюють за даними випробувань на пластичні властивості. Для кожної групи сталей, типів злитків, розмірів осередків, кількості злитків в осередку, температури посадки злитків в осередок конкретні температурні режими роботи осередків обговорюються в технологічній інструкції [5].

Видачу злитків на прокатку роблять, як правило, поплавно, виходячи з найбільш продуктивного завантаження стана та інших частин цеху, однак при цьому враховують, щоб перед станом знаходилося не більше двох або трьох злитків (при багатозлитковому прокатуванні).

При транзитному (прямій) прокатуванні сляб від слябінга відразу ж після прокатки по рольгангу 18 (рис. 1.1) передають на широкоштабовий стан гарячої прокатки (ШСГП). Нагрівання злитків для прямої прокатки виконують за спеціальною технологією. Посадку злитків в осередок колодязів роблять при наявності рідкої фази металу в центральній частині злитка ( $t \geq 1000$  C), а температуру осередку знижують за рахунок зменшення подачі газу. У цьому випадку зовнішні шари злитка нагріваються шляхом відбору тепла від рідкої серцевини. Час нагріву злитка зменшується, а після нагрівання злитки киплячої (напівспокійної) сталі задають в валки донної частиною, більш товстою, але без дефектів усадочної раковини. Такий спосіб прокатки злитків запобігає бурінню розкатів на ШСГП внаслідок можливого розкриття порожнини усадочної рихлості. Температура готового сляба нерівномірна, центральні шари мають температуру на 100 - 150 °C вище, ніж поверхневі, але середня температура сляба перед чорновий групою ШСГП повинна бути не нижче  $\sim 1180^\circ\text{C}$  [4].

### **1.3 Прокатка на слябінгу 1150 і стисла характеристика його обладнання**

Після нагріву злиток поступає на приймальний рольганг прокатного стана. Стан має 2 кліті (рис 1.4):

- а) горизонтальних валків;  
 б) вертикальних валків, розташовану перед кліттю горизонтальних валків.

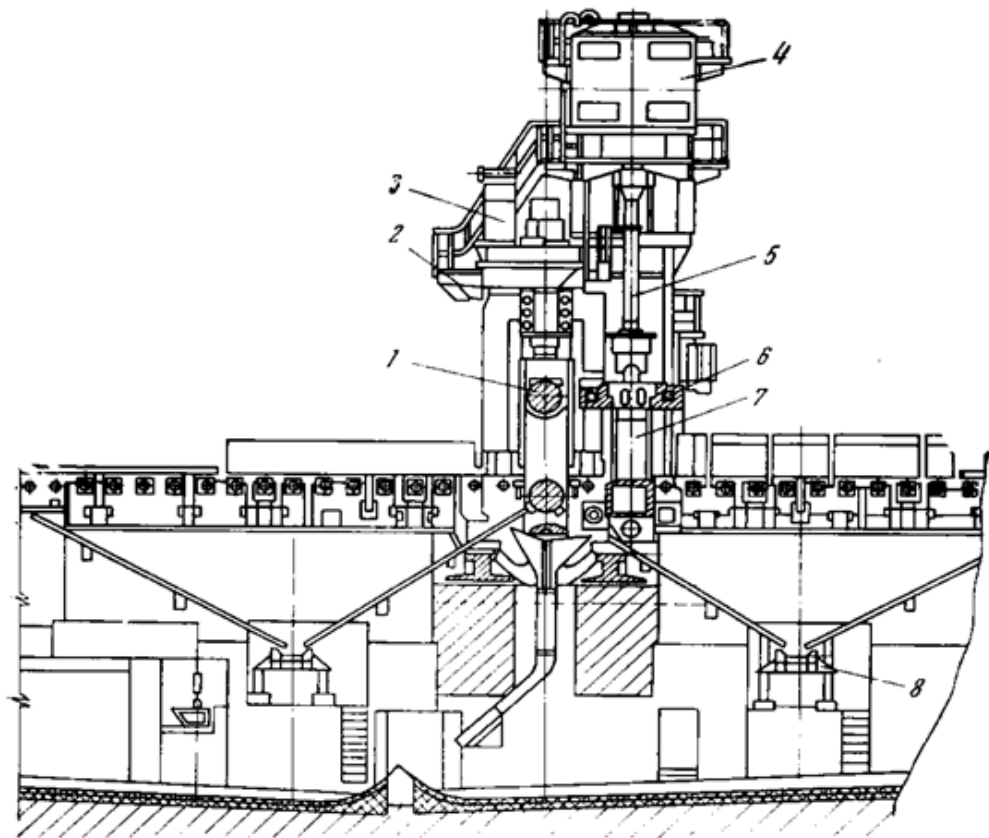


Рис. 1.4 - Загальний вид робочої кліті слябінга 1150

1 - горизонтальні валки; 2 - робоча кліть горизонтальних валків; 3 - електродвигуни натискного пристрою; 4 - електродвигуни приводу вертикальних валків; 5 - універсальні шпинделі приводу вертикальних валків; 6 - кліть вертикальних валків; 7 - вертикальні валки; 8 - транспортери для прибирання окалини

Відстань між осями горизонтальних і вертикальних валків - 2250 мм.

Кліть горизонтальних валків закритого типу, реверсивна з діаметром валків 1150 мм і довжиною бочки 2000 мм. Привід кожного горизонтального валка від електродвигуна ТИП МПС 9000 - 66, 750 В, 10200 А, потужністю 7200кВт через шпиндель без шестеренної кліті. Розтвір горизонтальних валків 80 - 900 мм, швидкість підйому валків 150 мм/с, обороти валків регулюються в межах  $\pm 53 - 0 - 53$  об / хв.

Кліть вертикальних валків: діаметр валків 700 мм і довжина бочки 1150мм. Привід вертикальних валків від 4-х електродвигунів ПВ2 800.175 - 8УЗ, 750 В, 1775 А, потужністю 1250 кВт кожен через циліндричний редуктор з передавальним числом - 3,744. Розтвір валків 1800 - 720 мм; швидкість переміщення валків - 64,8 мм/с; обороти валків регулюються в межах  $\pm 78 - 0 - 78$  об / хв.

Регулювання співвідношення оборотів горизонтальних і вертикальних валків виконується за спеціальною електричною схемою.

Стан обладнаний маніпулятором і кантувателем. Призначення маніпулятора - точна установка злитка по осі прокатки і вирівнювання штаби. Максимальний розтвір лінійок - 1800 мм, робочий хід лінійок - 1500мм. Довжина лінійок перед і за станом - по 8 м. Призначення кантувача - кантувати злитки і штаби на  $90^\circ$  і  $180^\circ$ .

Нагріті злитки масою до 20 т транспортуються до приймального рольгангу стана за допомогою злитковозу з причіпним візком, швидкість переміщення злитковозу 0,44 - 5,7 м/с, час опускання злитка на рольганг - 6 секунд. У головній частині стана встановлені, приймальний рольганг зі стаціонарним перекидачем і поворотним столом. Окружна швидкість роликів - 1,5 м / с. Призначення поворотного столу - повертати злитки на  $180^\circ$ . Діаметр поворотної платформи - 3370 мм. Найбільша довжина злитка, що повертається злитка - 3100 мм. Найбільша маса злитка - 20 тонн. Число оборотів поворотного столу - 2 - 6 об / хв.

Для забезпечення високопродуктивної прокатки злитків необхідна настройка стана, яка робиться після перевалки валків, заміни вкладишів, а також у випадку, коли при прокатуванні виявлено брак [1].

При прокатуванні слябів намагаються отримати добру поверхню сляба без залишків втисненої окалини та інших поверхневих дефектів. Крім того, сляби повинні мати рівні бокові кромки.

Для виробництва слябів які найбільш часто замовляють на меткомбінаті розроблені 18 режимів обтисень [5]. Прокатка злитків, що



передаються транзитом безпосередньо до ШСГП 1680 ЦГПТЛ, злитків IV групи робиться по одному («Одиночна прокатка»). Прокатка злитків на склад або для посадки в методичні печі I, II і III груп марок сталі проводиться, як правило, одночасно по два («спарена прокатка»), спочатку повністю прокатують перший розкат, а потім - другий. Така прокатка забезпечує максимальне використання стана і скорочує час пауз. Захоплення злитків (розкатів) валками роблять при швидкості  $n_3 = 20-40$  об/хв. ( $V_3 = 1,1 - 2,2$  м/с).. При «спареному» прокатуванні злитків в перших двох проходах кількість води, що подається для охолодження валків знижується на 50%. Спарена прокатка завершується за 5-7 проходів до закінчення обтиску злитків і подальша їх прокатка проводиться окремо до кінцевої товщини. Розподілення марок сталі по групам режимів обтисків приведені у таблиці 1.3.

Необхідна величина обтиснення вертикальними і горизонтальними валками в кожному проході контролюється за допомогою 2-х дискових циферблатів, кожен з яких розділений на 100 рівних ділень з ціною кожного 1 мм. Показання циферблатів горизонтальних і вертикальних валків на задану товщину і ширину повинні бути збільшені на величину температурної усадки [5]. При прокатуванні злитків навантаження на двигуни горизонтальних і вертикальних валків не повинні перевищувати допустиме навантаження. Категорично забороняється прокатка злитків, температура яких знизилась нижче допустимої норми при транспортуванні до стана або в процесі прокатки і штаб з підстуженими і потемнілими кінцями.

Злитки прокатують в сляби за 11 - 17 проходів з обтисненням в горизонтальних і вертикальних валках по 20 - 70мм (табл. 1.4). Величина обтиску в горизонтальних валках обумовлена їх міцністю і потужністю двигунів, розмірами сляба.

З табл. 1.4 випливає, що в першому проході обтискають конусність злитка по висоті і ширині. У першому і другому проходах розкат отримує розширення, що дорівнює в сумі  $\Sigma \Delta b = 24$  мм. Розширення видаляється

вертикальними валками в другому (парному) проході. Це має місце в кожній парі наступних проходів (непарний - парний). У ряді проходів положення вертикальних валків не змінюють у порівнянні з попереднім проходом. В останньому (одинадцятomu) проході роблять лише прогладжування слябів горизонтальними валками з метою зменшення бічних висотних напливів від обтиску вертикальними валками. На інших станах і при прокатуванні слябів іншої ширини режим роботи вертикальних валків може бути іншим. Сумарне обтиснення сляба по ширині складає 300 - 400 мм. При цьому 50 - 230 припадає на зменшення різниці між вихідною шириною зливка і сляба ( $B_{\text{зливка}} > b$ ) і 150 - 200 мм на усунення розширення металу, що виникає при прокатуванні. Достатнє обтиснення по ширині запобігає утворення поперечних тріщин і рванин на бічних поверхнях і ребрах сляба за рахунок вирівнювання інтенсивності течії металу в різних поздовжніх перетинах розкату.

Таблиця 1.3 Розподілення марок сталі по групам режимів обтисків

Група сталі	Марка сталі	Група режимів обтисків
Полуспокойні і киплячі  Нестаріюча	08пс(кп), 10 пс(кп), 15 пс(кп), 15ПСН, 20 пс(кп), 25 пс, Ст0, Ст1пс(кп), Ст3пс(кп), Ст4пс(кп), Ст3Гпс, Ст5Гпс 08Ю, 08ПСН	I
Вуглецева спокійна	10, 15, 20, 25, 30, 15К, 20К, Ст0, Ст2сп, Ст3сп, Ст4сп, Ст15 - медистая	II
Низьколеговані	09Г2Д, 12ГС, 09Г2, 16ГС, 09ГС, 14Г2, 17ГС, 09Г2С, 09Г2Т, 10ХНДП, 17Г1С, Ст5сп 07ГСЮФ, 08ГСЮТ, 08ГСЮФ, 08ЮТ, 08ГЮФ, 08ГЮТ	III
Високовуглецеві	60С2, 60С2А, 70Х, 45, 55, 60Г, 65Г, 70Г	IV

Таблиця 1.4 - Режим обтисків зливків вуглецевої спокійної сталі перетином 640×1250 на сляби перетином 200×(950-1050)

№ проходу	Горизонтальні валки			Вертикальні валки	
	Товщина h, мм	Обтиснення Δh, мм	Розширення Δb, мм	Ширина b, мм	Обтиснення Δh <sub>b</sub> , мм
1	520	120	15	1040	60
2	470	50	10	1040	25
3	415	55	49	1015	25
4	365	50	12	1015	61
5	310	55	50	990	25
6	260	50	12	990	62
7	210	50	50	960	30
8	205	5	1	960	52
9	205	0	0	960	0

Спільна робота горизонтальних і вертикальних валків обумовлена кінематичним зв'язком через прокатуємий розкат (безперервна прокатка в двох клітках), тому їх деформаційно-швидкісний режим прокатки повинен бути пов'язаний постійністю секундних об'ємів металу. При цьому з метою зниження завантаження електроприводу вертикальних валків доцільно максимальне обтиснення розкату по ширині робити при виході його з горизонтальних валків. В цьому випадку з боку горизонтальних валків створюється сила підпору розкату, що знижує момент прокатки і витрати потужності приводу вертикальних валків.

Після прокатки штаба поступає до ножиць з силою різа 15 - 20МН для видалення прибільної і донної частини. При цьому на штабах з киплячої і напівспокійної сталі від донної дефектної ділянки відрізають 2 - 3% металу, а від головної вирізують усадкову рихлість в розмірі 4 - 6% довжини розкату. Обрізки розкатів з прибуткової частини (задній кінець сляба) становить 10 - 14%, на передньому кінці обрізь 2 - 3%. У разі відправки на склад штабу

(довжина 10 - 15 м) ріжуть на мірні шматки, а на безперервний широкосмуговий стан - без поділу або з поділом на дві частини.

Величина відходів головної і донної частин розкату регламентуються заводськими інструкціями в залежності від типу злитка, марки сталі. На ножицях є спеціальні таблиці, де вказана довжина обрізі головної і донної частини злитка різної маси для всіх марок сталі, що прокатуються. Норми обрізі встановлюються так, щоб вся прибільна частина уходила в обрізь, а різ здійснювався по нижньому краю пояса (перехід від тіла злитка до прибільної частини).

Отримані після порізки сляби піддають клеймуванню. Клеймування роблять у торець з головної частини на клеймувальній машині або у хвостовій частині сляба за допомогою молотка з набранными буквами і цифрами (марка сталі, номер плавки, бригадний знак, номер злитка, номер сляба).

При порізці ведуть облік металу у встановленій формі з вказуванням номера плавки, марки сталі, перетину, довжини і кількості слябів у плавці, наявність дефектів (пльони, усадка, розшарування, рванини іт.д.) і величину зробленої обрізі для їх видалення. Відрізані прибільну і донну частини скидають на конвеєр для обрізі, який транспортує їх у спеціальні короба. Ці відходи відвантажують у сталеплавильні цехи, як шихтові матеріали.

У поверхневому шарі сляба, як правило, є дефекти металургійного (неметалеві включення, пльони) і прокатного (тріщини) виробництв, які на ряді станів видаляють на машині вогневої зачистки. На цій машині знімають кисневим струменем шар металу товщиною близько 2 мм з кожного боку сляба. Швидкість зачистки 0,8 ... 0,9 м/с.

#### **1.4 Механічне устаткування обтискного цеху і його характеристика**

### 1.4.1 Мостові кліщові колодязні крани

Зняття гарячих зливків із залізничних платформ, поданих зі стріперного відділення, посадка їх у нагрівальні колодязі, вилучення з колодязів і посадка у зливковіз – усі ці операції виконують спеціальні мостові кліщові крани [13, 14].

У цехах слябінгів залежно від ваги зливків, що прокатуються, застосовують кліщові крани вантажопідйомністю кліщового захвата й допоміжного гака 200/300, 300/400, 300/500 кН (20/30, 30/40, 30/50 тс). У прольоті нагрівальних колодязів (як і в інших цехах) за нульову ( $\pm 0,0$ ) висотну оцінку ухвалюють висоту головки рейок залізничної колії. Тому що майданчик нагрівальних колодязів розташований на висоті близько +3000 мм, то для обслуговування їх необхідно, щоб кліщовий кран був розміщений на великій висоті [оцінка підкранової рейки близько +(15-16) м]. Прогін крана (по осях підкранових рейок) становить 30 - 32 м. Зварний міст крана являє собою жорстку рамну конструкцію з кінцевими балками коробчастого перетину.

### 1.4.2 Прогін нагрівальних колодязів

Довжина прогону – 236,5 м. Ширина – 29 м. У прольоті прокладено три залізничні колії. Перша і друга залізничні колії з боку нагрівальних колодязів служать для подачі гарячих і холодних плавок зі складів зливків, подачі й збирання цегли при ремонтах колодязів і збиранню зварювального шлаку. Третій шлях – зливковізний, обладнаний у тупіку прогону ямою для ремонту зливковоза.

Для обслуговування колодязів по посадці, видачі зливків та по ремонтах встановлено 5 електромостових кліщових крана  $Q = 20/15$  т. У прольоті встановлено 14 груп колодязів із загальною довжиною майданчика 190 м. Тип нагрівальних колодязів – багатомісні газові, регенеративні з підігрівом газу й повітря. Практично місткість колодязів 160 – 170 зливків  $\approx$  2200 т.

Кожне гніздо має 4 регенератора, з яких 2 повітряних і 2 газових. Розташовані регенератори з лівої і правої сторони гнізда. Верхня частина насадок – динасова, а нижня частина – шамотна. Температура підігріву газу в регенераторі до 1000-1100 °С, а повітря до 800-900 °С.

Кожне гніздо має індивідуальні газопровід і повітропровід діаметром 400 мм, і для інтенсифікації процесу нагрівання від загального цехового колектора до кожного гнізда підводить трубою Ø 57×3,5 природний газ із постійною витратою 85,7 нм/годину. Перекидні пристрої на кожному гнізді індивідуальні: на газовому тракті гнізда встановлений клапан золотникового типу з водяним затвором, на повітряному – клапан метеликового типу [15]. Повітря поступає в регенератор та проходить через перекидний клапан від відцентрового вентилятора. Газ, що поступає в регенератор проходить через перекидний клапан від загального цехового газопроводу Ø1500 мм, через колектор. Пропорціональність газу й повітря здійснюється струминним регулятором співвідношення, що впливає на дроселі в повітропроводі за допомогою кривошипного сервомотора. Регулювання витрати газу проводиться автоматично по температурі в гнізді. Витрата повітря регулюється автоматично по витраті газу.

Постійний тиск в камері досягається автоматичною зміною положення шибера.

Тривалість нагрівання зливків холодного всада 6 - 10 годин, а гарячого 1,5 - 4,0 години і залежить від часу кінця розливання до посадки.

Продуктивність однієї групи колодязів 55 – 60 т/година.

### **1.4.3 Зливковоз**

Для подачі нагрітих зливків на прийомний рольганг стану в горизонтальному положенні служить двовісний візок-перекидач. Живлення двигуна пересування здійснюється від тролів. Перекидання колиски зі зливком проводиться напівавтоматично. Швидкість пересування зливковоза до 6 м/с. У випадку подачі зливків від першої й другої груп колодязів, зливки

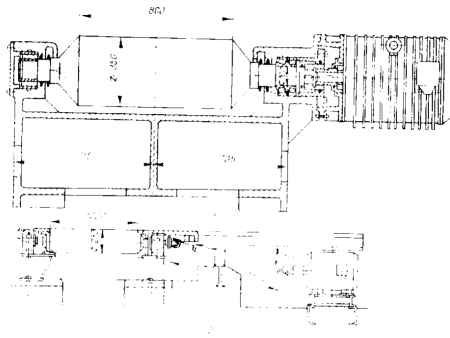
встановлюються безпосередньо краном у стаціонарний перекидач, який укладає зливочок на рольганг. При підході до рольганга швидкість зливковоза автоматично знижується; до моменту зіткнення з упором включається кінцевий вимикач і зливковіз зупиняється. У цей же період автоматично включається двигун повороту колиски. Зливочок плавно укладається на ролики й потім прийомним рольгангом транспортується до стану [16].

#### **1.4.4 Становий прогін**

Становий прогін довжиною – 78 м, шириною – 27 м із кроком колон – 12 м обладнано двома електромостовими кранами  $q = 30/5$  т і  $Q = 75/15$  т, які призначені для проведення ремонтних робіт, перевалок робіт, перевалок валків, збирання скрапу і інших робіт.

#### **1.4.5 Рольганги**

Усі рольганги встановлені по одній осі – осі прокатки, утворюючи безперервну лінію транспортування металу, що прокатуються. Кожний рольганг складається зі станини, роликів, трансмісії й привода. Усі рольганги мають напрямні лінійки. Ролики рольгангів ковані й литі пустотілі. Установлюються ролики поперек станини між рамами рольгангів, розташовуючись роликотідишниками, насадженими на обидві шийки ролика, у гніздах рам. На одну шийку із приводної сторони насаджена кінчна шестірня, що входить у зачеплення з відповідною кінчною шестірнею на приводному трансмісійному валу. Вал із закріпленими кінчними шестірнями встановлюють у масляній ванні із приводної сторони рольгангів, і закривається кришкою [13,14]. Привод складається з мотора й редуктора. У всіх рольгангів верхня площина роликів перебуває вище рівня підлоги цеху на 800 мм. Привод роликів робочих рольгангів перед станом і за станом проводиться від індивідуальних електродвигунів потужністю  $N = 80$  кВт,  $n = 470$  об/хв. типу МП-82 (рис. 1.5, б).



*a*- від фланцевого електродвигуна через зубчасту муфту;

*б*- від електродвигуна через карданний вал

Рисунок 1.5 - Ролики рольгангів з індивідуальним приводом

#### 1.4.6 Маніпулятор

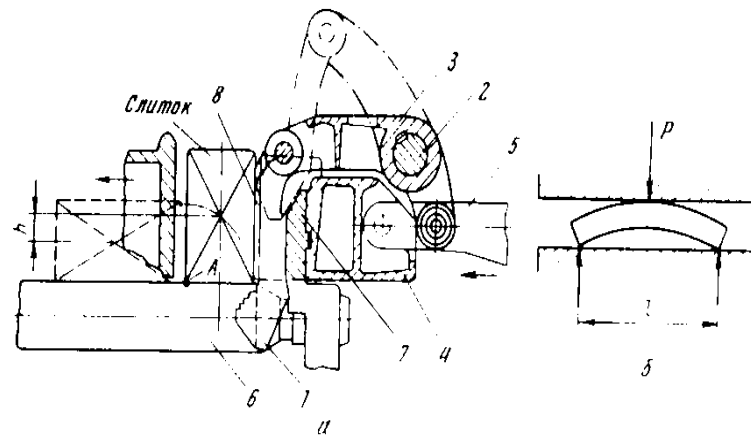
Маніпулятор призначений для точної установки зливка по осі прокатки й вирівнювання розкату. Є два маніпулятори стосовно осі стану – перед станом і за станом. Пересування лінійок перед станом і за станом здійснюється двома електродвигунами  $N = 150$  л.с.,  $n = 460$  об/хв. через циліндричні редуктори й річкові зачеплення. Максимальний розчин лінійок 1800 мм. Швидкість руху лінійок – 0,511 м/с. Довжина лінійок 8 м. Висота лінійок перед станом – 1225 мм, за – 1225 мм.

#### 1.4.7 Кантувач

Кантувач служить для повертання зливка на  $90^\circ$  або у два приймання на  $180^\circ$ ; при цьому відбувається збивання окалини. Кантувач розташований між станинами маніпулятора перед станом [17]. На верхній частині корпусу правої лінійки встановлений вал для надавання руху кантувальних гаків. Відстань між гаками 1500 мм. Висота підйому гаків 900 мм. Швидкість підйому гаків 0,55 м/с. Кут повороту важелів кантувальних гаків 48012. Пересування кантувача проводиться через редуктор двома електродвигунами



типу КПО1250/418  $N = 135$  кВт,  $n = 450$  об/хв. На рисунку 1.6 показаний пристрій маніпулятора і кантувача.



1- гаки, що кантують; 2 - вал; 3 - важелі; 4 - лінійка маніпулятора;  
5 - штанга; 6 - ролик робочого рольганга; 7 – утримувач; 8 – опорна плита

Рисунок 1.6 - Схема крюкового кантувача (а) і схема виправлення слябів лінійками маніпулятора (б)

#### 1.4.8 Ножиці

Ножиці закритого типу з верхнім різом і кривошипно-шатунним механізмом працюють від електропривода, до складу якого входять три редуктори й чотири електродвигуни. Потужність ножиців 2000т. Ножиці призначені для обрізання кінців і нарізання штаби перетином у межах від 65 – 200 мм по товщині й 650 – 1520 мм по ширині за умови, що поперечний переріз штаби не перевищує  $30000 \text{ мм}^2$  для сталей з межею міцності не більш  $50 \text{ кг/мм}^2$  при  $800^\circ\text{C}$ . Довжина сляба залежить від фабрикації зливка в межах 1400 - 4800 мм. Кількість ножів – 2, сталь марки 5ХВ2С. Відстань між ножами 320 мм. Хід верхнього ножа – 340 мм найбільше число різів 4,9 - 8,6 у хв. Ширина транспортера для збирання обрізків 600 мм, обмежує довжину обрізі й вага.

Таврування слябу на бічній грані проводиться за допомогою клеймовочної машини, що представляє собою пневмоциліндр зі штоком, на якому кріпляться обойми із клеймами.

#### **1.4.9 Конвеєр для збирання обрізі**

Служить для подальшої передачі обрізі від транспортера на хитному столі ножиців до коробки охолодження обрізі в скрапному прольоті. Робоча швидкість стрічки конвеєра – 0,49 м/с. Ширина стрічки 1000 мм. Привід ланцюга здійснюється від електродвигуна  $N = 40$  кВт,  $n = 750$  об/хв.

Після порізки обрізь рухається по стрічковому транспортеру на хитному рольгангу, потім переходить на конвеєр, дійшовши до кінцевих зірочок, переходить на розподільну плиту скидального пристрою. На плиті встановлена напрямна, що повертається, за допомогою якої обрізі направляються в ту або іншу коробку. З коробок обрізь висипається на дорожні платформи або в засіки для обрізі в скрапному прольоті.

#### **1.4.10 Прогін складу слябів**

Довжина прогону – 204 м. Ширина двох прольотів складу 80 м. Склад слябів фактично вміщає 26000 – 28000 т слябів і обладнано шістьма електромостовими кранами (у кожному прольоті по 3 крана) вантажопідйомністю 20/5 т.

Вирізані на ножицях сляби можуть надходити в печі ТЛЦ по похилому транспортеру й грубному рольгангу або складається на стелажах складу слябів. Гарячі сляби, що йдуть на склад слябів, затримуються упорами, розташованими в лінії рольганга, що відводить, біля складальних столів і зіштовхувачами зрушуються на складальний стіл.

Для зрушування слябів з рольганга, що відводить, є два зіштовхувача, обладнаних 8 пальцями кожний. Кожний робочий хід зіштовхувача 4400 мм

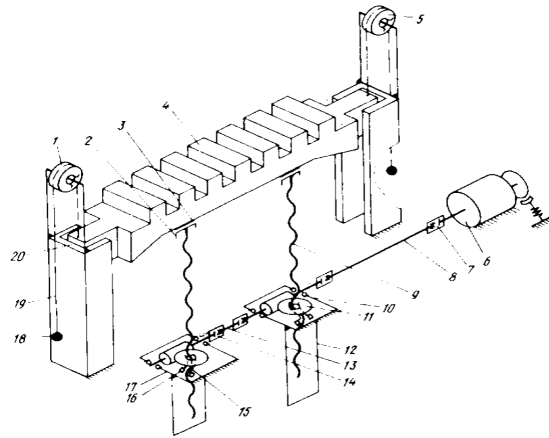
забезпечує зіштовхування слябів на складальний стіл, а потім на стелажі. Швидкість зіштовхування 0,362 м/с.

Максимальне зусилля, що штовхає, – 20 т. Привод кожного зіштовхувача здійснюється від моторів типу МП-72 потужністю 75 кВт через черв'ячний редуктор і зубчасті рейки.

#### **1.4.11 Столи для штабелювання**

Столи для штабелювання розташовані біля зіштовхувачів і служать для укладання слябів у столи й збирання стоп електрокранами. Максимальний хід стопа 1200 мм. Швидкість підйому стопа - 0,023 м/с. Піднімальна сила стопа – 25 т. Укладання слябів у два ряди може проводитися тільки при слябах шириною до 800 мм і довжиною до 2250 мм. Привод кожного столу здійснюється від мотора МП-72 потужністю 75 кВт через черв'ячний редуктор і два піднімальні гвинти діаметром 250 мм (рис. 1.7).

Зібрані в стопи сляби складують на стелажі. Сляби легованих марок сталей, потребуючих за технологією вповільненого охолодження або відпалом – відправляються до термічних печей з висувним подом; сталі нержавіючих марок – складуються для наступної передачі в прогін стругальних верстатів цеху. Цех має 28 поздовжньо-стругальних верстатів для обдирання нержавіючих слябів, що підлягають перекату на гарячекатаний лист на безперервному тонколистовому стані. Продуктивність стругального відділення 200 - 250 т/доба.



1,5 – блоки; 2,3 - кульові опори; 4 – стіл; 6 – електродвигун;  
 7,14 - зубчасті муфти; 8,13 – вали; 9 – гвинт; 10,17 - черв'ячні редуктора;  
 11- черв'ячне колесо; 12 - корпус редуктора; 15 – гайка; 16 - упорні  
 підшипники; 18 - контр вантажі; 19 – ланцюг; 20 - напрямна стійка

Рисунок 1.7 – Схема стола, що штабелює

### 1.5 «Вузькі місця» виробничого процесу

Подальше зростання виробництва слябінга в даний час обмежується:

1. недостатньою продуктивністю засобів для подачі зливків від нагрівальних колодязів до стану. Швидкість руху зливковозу уздовж фронту всіх нагрівальних колодязів мала - 5,6 м/с, не забезпечує максимальну годинну продуктивність стану. Зливковіз через ряд конструктивних недоліків не забезпечує нормальну роботу і викликає часті простої стану;

2. конструкція натискного механізму не дозволяє забезпечити прокатку зливків «на ребро» для збільшення обсягу виробництва і забезпечення ТЛС 95% гарячого всаду;

3. двигуни головного привода стану не дозволяють інтенсифікувати режим обтисків у горизонтальній кліті стану;

4. кантувач має ряд конструктивних недоліків і не забезпечує нормальну роботу;

5. високим ступенем зношеності й недостатньої потужності ножиців для різання розкату високоміцних сталей;
6. низькою продуктивністю засобів для подачі обрізи від ножиців у скрапний прогін;
7. відсутні ефективні засоби для заощадження тепла металу, що прокатується.

Для зменшення енерговитрат при прокатці існують такі методи:

Гарячий посад слябів вважається однією з найпоширеніших енергозберігаючих технологій, які використовуються при виробництві листового прокату. Підвищення температури слябів при посаді в печі на кожні  $100^{\circ}\text{C}$  дозволяє зменшити витрату енергії приблизно на 80 – 120 МДж/т, в перерахунку на умовне паливо 3 – 4 кг/т.

Вживання тепловідбивних (ТОЕ) і теплоаккумулюючих (ТАЕ) екранів дозволяє понизити значення «Температурного клину», що приводить до вирівнювання структури по перетину сляба, рівномірності механічних властивостей, зниженню подовжньої різнотовщинності, і крім того, до збільшення температури прокатки (особливо в останніх проходах), дозволяє понизити зусилля прокатки, а значить і витрати електроенергії. В даний час вживання тепловідбивних екранів набуло поширення при гарячій прокатці чорних металів і сплавів. Доцільним представляється використовувати на стані гарячої прокатки тепловідбивні екрани, оскільки вони мають більшу швидкодію в порівнянні з теплоаккумулюючими екранами, для початку ефективної роботи яких потрібен певний час, необхідне для акумуляції тепла. Вживання тепловідбивних екранів дозволяє підвищити температуру кінця прокатки на  $51 - 78^{\circ}\text{C}$  і понизити «температурний клин» по довжині гарячекатаної штаби на  $15 - 28^{\circ}\text{C}$ .

Розглянемо детальніше один з вищевикладених методів зменшення енерговитрат – використання тепловідбивних екранів (рис. 1.8) з метою економії енергоресурсів, зокрема електроенергії.

Над рольгангом 1, по якому рухається гарячий метал 2 встановлюється екран, який виконаний з панелей 5, кожна з яких складається з набору горизонтальних тонкостінних труб 9, що фіксуються в панелях стрижням 10. Труби заповнені тепло ізолятором.

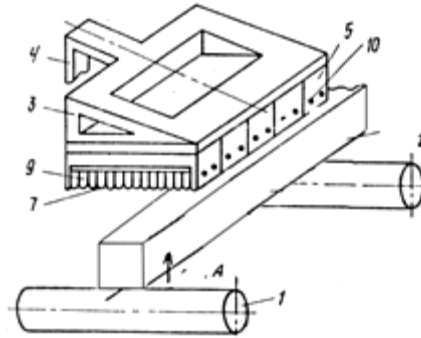


Рисунок 1.8 – Конструкція теплоізоляційного екрану

Така конструкція разом з низькою тепловою інерційністю має здібність до значного термічного розширення без збільшення габаритів. Пластини закріплені на несучій конструкції 3, яка кріпиться утримувачем 4.

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.3 Розрахунок режиму деформації та енергосилових параметрів прокатки сляба перетином 150 × 1250 мм

Метою випускної кваліфікаційної роботи магістра є визначення раціонального режиму деформації з метою підвищення продуктивності виробництва слябів перетином 150 × 1250 мм із сталі 08кп.

З метою виявлення раціонального режиму деформації виконаємо розрахунок енергосилових параметрів прокатки сляба для трьох варіантів:

Варіант №1: дійсний режим обтиснень з технологічної інструкції меткомбінату ПАТ "Запоріжсталь";

Варіант №2: розрахунковий режим обтиснень за 13 проходів;

Варіант №3: розрахунковий режим обтиснень за 11 проходів;

Режим обтиснень за технологічною інструкцією приведено у таблиці 2.1. По таблиці 2.1 видно, що прокатка сляба перетином 150 × 1250 мм виконується за 13 проходів. У першому проході обтискається конусність злитка по висоті і ширині. Величина обтисків у горизонтальних валках обумовлена їх міцністю і потужністю двигуна, розмірами сляба.

Для прикладу виконаємо розрахунок теоретичного режиму обтиснень і енергосилових параметрів за 13 проходів за методикою В.О. Ніколаєва приведеною у [4].

Таблиця 2.1 Розподілення обтисків по проходах при прокатуванні сляба  $150 \times 1250$  мм із злитка розмірами  $\frac{780 \times 1400}{690 \times 1360} \times 2200$  мм згідно технологічної інструкції (Варіант №1).

№ проходу	Горизонтальні валки		Установка вертикальних валків, мм	$\Delta h_v$ , мм	$\epsilon$	$\mu$	L, м	V, м/с	$l_d$ , мм	t, °C
	h, мм	$\Delta h$ , мм								
1	670	110	1360	40	0,14	1,19	2,64	1,88	239,1	1200
2	615	55	1360	25	0,08	1,08	2,87	2,24	169,1	1199
3	560	55	1340	20	0,08	1,11	3,2	2,4	169,1	1198
4	510	50	1340	19	0,08	1,09	3,52	2,4	161,2	1195
5	455	55	1320	20	0,107	1,13	4	2,4	169,1	1189
6	405	50	1320	16	0,109	1,12	4,49	2,4	161,2	1182
7	350	55	1300	20	0,135	1,17	5,28	2,55	169,1	1169
8	305	45	1300	36	0,128	1,14	6,06	2,7	152,9	1156
9	260	45	1280	20	0,147	1,19	7,22	2,78	152,9	1139
10	220	40	1280	30	0,153	1,18	8,53	2,78	144,2	1122
11	180	40	1250	38	0,181	1,25	10,68	3,08	144,2	1100
12	152	28	1250	34	0,155	1,18	12,64	3,08	120,6	1084
13	150	2	1250		0,013	1,01	12,81	3,08	32,25	1070

Вихідні дані для розрахунку режиму деформації:

Злиток  $\frac{780 \times 1500}{720 \times 1430} \times 2200$  мм на сляб  $150 \times 1250$  мм. Сталь 08кп.

$D = 1150$  мм,  $L_\phi = 2000$  мм,  $a = 2720$  мм,  $d_{ш} = 720$  мм,  $l_{ш} = 720$  мм,  $N_{об} = 7200$  кВт, 50HSD,  $t = 1200^\circ\text{C}$

Для визначення раціонального режиму виконаємо розрахунок теоретично допустимих величин обтиснення виходячи з трьох умов.



**Визначення допустимого обтиску з умови захоплення металу валками**

Знайдемо коефіцієнт тертя за формулою:

$$f = f_0 \cdot k_\epsilon \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_{CM} \cdot k_E \quad (2.13)$$

де  $f_0$  - базовий коефіцієнт тертя;  $k_\epsilon$  - коефіцієнт, що враховує вплив різних факторів;  $k_T$  - твердість поверхні валків;  $k_M$  - матеріал сляба (полоси);  $k_V$  - окружну швидкість валків;  $k_{CM}$  - типу технологічної змазки;  $k_E$  - відносного обтиску.

Коефіцієнт тертя при захопленні розкату валками дорівнює:

$$f_3 = f \cdot k_3 \cdot k_Q \quad (2.14)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя у встановленому процесі;  $k_3$  - коефіцієнт, який враховує умови тертя при захопленні,  $k_3 = 1,35$ ,  $k_Q$  - коефіцієнт, який враховує покращення умов захоплення при задачі у валки розкату під дією деякої сили від рольгангу,  $k_Q = 1.02 \dots 1.1$

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left( \frac{t}{400} - 2 \right)^2 \quad (2.15)$$

де  $t$  - температура метала,  $t = 1200^\circ\text{C}$ .

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left( \frac{1200}{400} - 2 \right)^2 = 0,17$$

Коефіцієнти  $k_T$  і  $k_V$  відповідно дорівнюють:

$$k_T = 1 + 0,43 \left( 1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 \quad (2.16)$$

де HSD - твердість по шкалі Шора.

$$k_T = 1 + 0,43 \left( 1 - \frac{50}{65} \right)^2 = 1,022$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot V)^2 \quad (2.17)$$

де  $V$  - окружна швидкість валків.

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,66)^2 = 1,33$$

Коефіцієнт  $k_B$  для сталених валків слід приймати в межах  $k_B=1,1$ , коефіцієнт для маловуглецевої сталі дорівнює  $k_M=1,0$ , коефіцієнт  $k_{CM}$  для слябінга, валки якого охолоджуються водою дорівнює  $k_{CM}=1,0$ , коефіцієнт  $k_E$  дорівнює  $k_E=0,95$ .

$$f = 0,17 \cdot 1,022 \cdot 1,33 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,24$$

$$f_3 = 0,24 \cdot 1,35 \cdot 1,1 = 0,358$$

Діаметр валків після переточування:

$$D = 0,9 \cdot D_0$$

$$D = 1150 \cdot 0,9 = 1040 \text{ мм}$$

Визначимо допустимий обтиск з формули:

$$\Delta h_d = R \cdot f_3^2 \quad (2.18)$$

$$\Delta h_d = 520 \cdot 0,358 = 67 \text{ мм}$$

### **Визначення допустимого обтиску виходячи з міцності валків**

Допустима сила прокатки визначається з формул:

для бочки

$$P_d = 0,4 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{из}] / (a - 0,5b) \quad (2.19)$$

для шейки валка

$$P_d = 0,4 \cdot d_{ш}^3 \cdot [\sigma_{из}] / l_{ш} \quad (2.20)$$

де  $[\sigma_{из}]$  - допустиме напруження на вигин,  $[\sigma_{из}] = 100-120 \text{ Н/мм}^2$ ;  $D$  - діаметр валка у небезпечному перетині,  $D=1,04 \text{ м}$ ;  $a$  - проміжок між осями натискних гвинтів,  $a=2,72$ ;  $b$  - ширина сляба,  $m$ ;  $l_{ш}$  - довжина шейки,  $l_{ш} = 0,72 \text{ м}$ .

по бочці

$$P_d = 0,4 \cdot 1,04^3 \cdot 115 / (2,72 - 0,5 \cdot 1,25) = 24,34 \text{ МН}$$

по шийці валка

$$P_d = 0,4 \cdot 0,72^3 \cdot 115 / 0,72 = 23,85 \text{ MN}$$

Допустима міцність шийки на вигин менше, ніж по бочці, так як у шийці ще діють напруги від крутного моменту. Менше значення  $[P_d]$  приймаємо для розрахунку допустимого обтиску.

Допустимий обтиск виходячи з міцності валка визначаємо з виразу:

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h')(P_d - P') / (P'' - P') \quad (2.21)$$

де  $\Delta h'$  і  $\Delta h''$  - абсолютні обтиски відповідно мінімальні і максимальні, прийняті для розрахунку;  $P'$  і  $P''$  - розрахункові сили прокатки, які відповідають обтискам  $\Delta h'$  и  $\Delta h''$ , можливим на даному стані.

Приймаємо наступні умови деформації металу:  $D_0 = 1150$  мм,  $h' = 30$  мм,  $h'' = 70$  мм,  $h_{cp} = 250$  мм,  $t = 1160$  С, сталь 08КП (хім. склад %: 0,11С; 0,03Si; 0,5Mn; 0,1Cr; 0,25Ni), орієнтовна швидкість прокатки  $v = 2,37$  м/с, ширина  $B = 1250$  мм.

Напруження текучості металу визначаємо за формулою:

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u \quad (2.22)$$

де  $\sigma_{T\delta}$  - базове напруження течії металу;  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_u$  - коефіцієнти відповідно враховуючі температуру метала, відносне обтиснення, швидкість деформації.

Для маловуглецевої сталі

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 \left[ 1 - \left\{ (5 - N_1) / 4,5 \right\}^{1,8} \right] \quad (2.23)$$

де  $N_1$  – сума хімічних елементів у сталі.

Для сталі 08кп вуглецевий еквівалент дорівнює, %:

$$N_1 = C + Si + Mn + Cr + Ni \quad (2.24)$$

$$N_1 = 0,11 + 0,03 + 0,5 + 0,1 + 0,25 = 0,99$$

Базове напруження течії дорівнює :

$$\sigma_{T\bar{0}} = 80 + 25 \cdot \left[ 1 - \left\{ (5 - 0,99) / 4,5^{1,8} \right\} \right] = 84,68 \text{ Н / мм}^2$$

Параметри деформації  $l_d / h_{cp}$  дорівнюють:

$$l'_d = \sqrt{30 \cdot 520} = 124,9; \quad l_d / h_{cp} = 124,9 / 250 = 0,5;$$

$$l''_d = \sqrt{70 \cdot 520} = 190,7; \quad l_d / h_{cp} = 190,7 / 250 = 0,76.$$

Відносний обтиск по формулі :

$$\varepsilon = \Delta h_i / (h_{cp} + 0,5 \cdot \Delta h') \quad (2.25)$$

$$\varepsilon' = 30 / (250 + 15) = 0,113 \quad \varepsilon'' = 70 / (250 + 35) = 0,245$$

Швидкість деформації металу визначимо по формулі:

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad (2.26)$$

$$u' = \frac{2370 \cdot 0,113}{124,9} = 2,14 \text{ с}^{-1} \quad u'' = \frac{2370 \cdot 0,245}{190,7} = 3,05 \text{ с}^{-1}$$

Коефіцієнти  $k_i$  дорівнюють:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left( \frac{t}{400} - 2 \right)^{0,7};$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot \left[ 1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2 \right]; \quad (2.27)$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 \cdot (7 + \ln u).$$

Маємо:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left( \frac{1160}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,63$$

$$k'_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[ 1 - 6,3(0,5 - 0,113)^2 \right] = 1,02$$

$$k''_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[ 1 - 6,3(0,5 - 0,245)^2 \right] = 1,25$$

$$k'_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 2,14) = 0,77$$

$$k''_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 3,05) = 0,8$$

Збираємо всі отримані дані у одну формулу відповідно для  $\Delta h' = 30 \text{ мм}$  і  $\Delta d'' = 60 \text{ мм}$  :

$$\sigma'_T = 84,68 \cdot 0,63 \cdot 1,02 \cdot 0,77 = 43,14 \text{ Н / мм}^2$$

$$\sigma''_T = 84,68 \cdot 0,63 \cdot 1,25 \cdot 0,8 = 54,54 \text{ Н / мм}^2$$

Середнє нормальне контактне напруження з урахуванням зовнішніх зон визначаємо з:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_T (1 + 0,145 \cdot l_d / h_{cp}) \left[ 1 + (1,1 - l_d / h_{cp})^2 \right]; \quad (2.28)$$

$$p'_{cp} = 1,15 \cdot 43,14 (1 + 0,145 \cdot 0,5) \cdot \left[ 1 + (1,1 - 0,5)^2 \right] = 72,39 \text{ Н / мм}^2$$

$$p''_{cp} = 1,15 \cdot 54,54 (1 + 0,145 \cdot 0,76) \cdot \left[ 1 + (1,1 - 0,76)^2 \right] = 77,56 \text{ Н / мм}^2$$

Сила прокатки відповідно дорівнює:

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B \cdot 10^{-6} \quad (2.29)$$

$$P' = 72,39 \cdot 124,9 \cdot 1250 \cdot 10^{-6} = 11,3 \text{ Н}$$

$$P'' = 77,56 \cdot 190,7 \cdot 1250 \cdot 10^{-6} = 18,4 \text{ Н}$$

Визначимо допустимий обтиск з сили прокатки:

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h') (P_d - P') / (P'' - P') \quad (2.30)$$

$$\Delta h_d = 30 + (70 - 30)(23,85 - 11,3) / (18,4 - 11,3) = 73,8 \text{ мм}$$

### **Визначення допустимого обтиску виходячи з крутного моменту**

В першу чергу необхідно визначити крутний момент прокатки для  $\Delta h' = 30 \text{ мм}$  і  $\Delta d'' = 70 \text{ мм}$ , за формулою:

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P \quad (2.31)$$

де  $\psi$  - коефіцієнт положення рівнодіючих сил у осередку деформації при прокатуванні високих полос на слябінгу рівний

$$\psi = 0,79 - 0,887 \frac{l_d}{h_{cp}} + 0,444 \left( \frac{l_d}{h_{cp}} \right)^2 \quad (2.32)$$

Для  $l_d / h_{cp} = 0,5$  отримаємо:

$$\psi' = 0,79 - 0,887 \cdot 0,5 + 0,444 \cdot 0,5^2 = 0,457$$

$$M' = 0,457 \cdot 124,9 \cdot 11,3 = 0,64 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Для  $l_d / h_{cp} = 0,76$  отримаємо:

$$\psi'' = 0,79 - 0,887 \cdot 0,76 + 0,444 \cdot 0,76^2 = 0,371$$

$$M'' = 0,371 \cdot 190,7 \cdot 18,4 = 1,31 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Номінальний момент на валу одного двигуна при номінальному числу обертів  $n_{ном} = 53$  об./хв. визначимо з формул:

$$M_{ном} = \frac{N_{дв} \cdot R \cdot \eta}{960 \cdot v_{ном}}; \quad (2.33)$$

$$v_{ном} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ном}}{60}, \quad (2.34)$$

$\eta$  - КПД передачі ( $\eta = 0,92 - 0,95$ )

Вирішуючи разом ці вирази отримаємо:

$$M_{ном} = \frac{N_{ном} \cdot \eta}{100 \cdot n_{ном}} \quad (2.35)$$

$$M_{ном} = \frac{7200 \cdot 0,95}{100 \cdot 30} = 2,28 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допустимий обтиск дорівнює:

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h') (M_{ном} - M) / (M'' - M') \quad (2.36)$$

$$\Delta h_d = 30 + (70 - 30)(2,28 - 0,646) / (1,31 - 0,646) = 63,7 \text{ мм}$$

Нижче представлені допустимі обтиски, розраховані за різних умов:

Діаметр валків, мм	Допустимий обтиск з умови ,мм		
	Захоплення металу валками	Міцності валків по силі прокатки	Крутного моменту
1040	67	74	64

З метою забезпечення міцності деталей головної лінії стана приймаємо середній обтиск не перевищуючий 64 - 74 мм. При цьому середній обтиск вважаємо рівним:

$$\Delta h_{cp} = \frac{67 + 64}{2} \cdot 0,9 = 59 \text{ мм}$$

### ***Визначення сумарного обтиску за всі проходи і кількість проходів***

При задаванні злитка у валки тонкою головною частиною величина обтиску значно більше, ніж у наступних проходах:

$$\Delta h_1 = (H_0 - H'_0) + \Delta h_d \quad (2.37)$$

де  $H_0$  і  $H'_0$  – висота товстого і тонкого кінців;  $\Delta h_d$  – допустимий обтиск з граничної умови при  $\Delta h_d = 74 \text{ мм}$ .

$$\Delta h_1 = (780 - 720) + 67 = 127 \text{ мм}$$

При задачі розкату товстою донною частиною допустимий обтиск у першому проході дорівнює  $\Delta h_1 = \Delta h_d \approx 67 \text{ мм}$ .

Сумарний обтиск визначаємо за формулою:

$$\sum \Delta h = H_0 - h - \Delta h_1 - \Delta h_q \quad (2.38)$$

де  $\Delta h_q = 10 - 20 \text{ мм}$

$$\sum \Delta h = 780 - 150 - 127 - 20 = 483 \text{ мм}$$

Сумарну кількість проходів знаходимо по формулі:

$$n = 3 + \sum \Delta h / \Delta h_{cp} \quad (2.39)$$

де 3 - число проходів (перший, передостанній, останній).

$$n = 3 + \frac{483}{59} = 11,2$$

Змінюємо дробне число до цілого у сторону збільшення, тобто до  $n=13$ . Разом із збільшенням числа проходів зменшується середній обтиск до

$$\Delta h = \Delta h_{cp} \frac{11,2}{13} = 59 \cdot \frac{11,2}{13} \approx 50,8 \text{ мм}$$

Розподілення обтисень по проходах зробили наступним чином: у першому проході величина обтиснення обмежується умовами захвату і дорівнює 65 мм, далі величину обтиснення поступово зменшуємо, що обумовлено зниженням температури розкату. Розподілення обтисень по проходах при прокатуванні за 13 проходів сляба 150×1250мм представлені у таблиці 2.2.



Таблиця 2.2 Розподілення обтисків по проходам при прокатуванні сляба 150×1250мм (однозлиткова прокатка) за 13 проходів ( $n_3 = 30$  1/хв.,  $n_в=40=1/хв.$ ) із злитка розмірами  $\frac{780 \times 1400}{690 \times 1360} \times 2200$ мм (Варіант №2).

№ проходу	Горизонтальні валки		Установка вертикальних валків, мм	$\Delta h_в$ мм	$\epsilon$	$\mu$	L, м	V, м/с	$l_d$ , мм	t, °C
	h, мм	$\Delta h$ мм								
1	715	65	1360	40	0,08	1,12	2,47	1,75	183,8	1200
2	650	65	1360	25	0,09	1,1	2,72	2	183,8	1199
3	585	65	1340	20	0,1	1,12	3,06	2,33	183,8	1198
4	520	65	1340	19	0,11	1,12	3,45	2,55	183,8	1195
5	460	60	1320	20	0,11	1,14	3,96	2,7	176,6	1190
6	405	55	1320	16	0,11	1,13	4,49	2,7	169,1	1181
7	355	50	1300	20	0,12	1,15	5,21	2,7	161,2	1173
8	305	50	1300	36	0,14	1,16	6,06	2,78	161,2	1159
9	255	50	1280	20	0,16	1,21	7,36	2,78	161,2	1141
10	208	47	1280	30	0,18	1,22	9,02	2,78	156,3	1122
11	180	38	1250	38	0,16	1,18	10,68	3,08	140,5	1100
12	152	30	1250	34	0,01	1,18	12,64	3,08	124,9	1084
13	150	2	1250			1,01	12,81	3,08	32,2	1070

### ***Визначення швидкісного режиму прокатки***

Приймаємо наступні частоти обертання по етапам прокатки слябів (таблиця 2.3)

Таблиця 2.3 Приблизні величини чисел оборотів при захопленні, викиданні і максимальні.

Етапи прокатки сляба	При захопленні $n_3$ , об/хв.	При викиданні $n_в$ , об/хв.	Максимальне число обертів $n_m$ , об/хв.
I	15	20	60
II	30	40	60
III	40	45	60
IV	40	45	60

I - початкові проходи

II - середні проходи

III - передостанні проходи

IV - останній прохід

Визначимо максимальну частоту  $n_{mp}$  за формулою:

$$n_{mp} = 49 \sqrt{\frac{L_i}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600} + \frac{n_6^2}{7200}} \quad (2.40)$$

де  $L_i$  - довжина подвійного розкату у проході

Довжина  $L_i$  визначаємо з виразу:

$$L_i = L_{сл} \cdot \mu_{\Sigma} \quad (2.41)$$

де  $L_{сл}$  - довжина слитка

$\mu_{\Sigma}$  - сумарний коефіцієнт витяжки за  $n$ -ну кількість проходів

Для останнього проходу максимальне значення обертів валків визначаємо з формули:

$$n_{mp} = 60 \sqrt{\frac{L}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600}} \quad (2.42)$$

Середню швидкість в даному проході орієнтовно визначаємо за формулою:

при  $n_{mp} < n_m$

$$v = \frac{D}{38,3} [n_{mp} + 0,5(n_3 + n_6)] \quad (2.43)$$

при  $n_{mp} > n_m$

$$v = \frac{D}{38,3} [n_m + 0,5(n_3 + n_6)] \quad (2.44)$$

**Визначення розрахункових максимальних значень обертів валків у кожному проході і середньої швидкості прокатки**

$$n_{mp} = 49 \sqrt{\frac{2,47}{3,14 \cdot 1,15} + \frac{15^2}{3600} + \frac{15^2}{7200}} = 43,22 \text{ хв}^{-1}$$

Середня швидкість валків з формули

$$v = \frac{D}{38,3} [n_{mp} + 0,5(n_3 + n_6)] \quad (2.45)$$

$$v = \frac{1,15}{38,3} [43,22 + 0,5(15 + 15)] = 1,75 \text{ м / с}$$

Розрахункові значення середньої окружної швидкості валків наведені у таблиці 2.2.

Втрати температури у і-тому проході приблизно можна визначити з виразу

$$\Delta t_{\Sigma} = 240(1 - h_i/h_1)^3 \quad (2.46)$$

$$t_i = t_1 - \Delta t_{\Sigma} \quad (2.47)$$

де  $t_i$  – температура металу в текучому проході;  $t_1$  – температура розкату після першого проході;  $h_i$  - товщина розкату після першого проході;  $h_1$ - товщина полоси після першого проході.

Приймаючи вихідною температуру рівну  $t_1=1240^{\circ}\text{C}$  для першого проході отримуємо:

$$\Delta t_1 = 240 \left(1 - \frac{650}{715}\right)^3 = 1^\circ\text{C}$$

Температура металу після проходу дорівнює:

$$t_1 = 1200 - 1 = 1199^\circ\text{C}$$

Після шостого проходу

$$\Delta t_6 = 240 \left(1 - \frac{405}{715}\right) = 19^\circ\text{C}$$

$$t_6 = 1181^\circ\text{C}$$

Для всіх інших проходів значення температури металу дані в таблиці 4.3. У останньому проході падіння температури прийнято рівним  $14^\circ\text{C}$

***Визначення енергосилових параметрів прокатки (горизонтальні валки)***

Напруження плинну металу визначимо по приведеним вище виразам:

Базове напруження течії для киплячої сталі 08кп дорівнює  $\sigma_{T\delta} = 84,68 \text{ Н / мм}^2$ . Відносний обтиск  $\varepsilon_1 = 0,08$ , довжина дуги контакту  $l_d = 183,85 \text{ мм}$ ,  $l_d / h_{cp} = 0,25$ , окружна швидкість валків  $v = 1,75 \text{ м / с}$ , температура металу  $t = 1200^\circ\text{C}$  ( таблиця 4.3 перший прохід)

Визначимо коефіцієнти  $k_t, k_\varepsilon, k_u$  по формулам (4.15):

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left( \frac{1200}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,56$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left( 1 - 6,3(0,5 - 0,08)^2 \right) = 0,96$$

$$u = (2320 \cdot 0,141) / 251,5 = 1,3 \text{ с}^{-1}$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 0,79) = 0,71$$

Визначимо значення напруження плинину за формулою (4.10):

$$\sigma_T = 84,68 \cdot 0,56 \cdot 0,96 \cdot 0,71 = 32,19 \text{ Н / мм}^2$$

Середнє нормальне контактне напруження визначимо за формулою (4.16):

$$p_{cp} = 1,15 \cdot 32,19 (1 + 0,145 \cdot 0,25) \left[ 1 + (1,1 - 0,25)^2 \right] = 66,29 \text{ Н / мм}^2$$

Сила прокатки по (4.17) дорівнює:

$$P = 66,29 \cdot 183,85 \cdot 1250 \cdot 10^{-6} = 15,24 \text{ МН}$$

Визначимо коефіцієнт положення рівнодіючої сил  $\psi$  і крутящий момент прокатки по формулам (4.19; 4.20):

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,25 + 0,444 \cdot 0,25^2 = 0,6$$

$$M = 0,6 \cdot 0,183 \cdot 15,24 = 1,68 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Потужність двигуна для двох валків визначаємо за виразом:

$$N_{\text{дв}} = 2 \cdot 960 \cdot M \cdot v / R \cdot \eta, \quad (2.48)$$

$$N_{\text{дв}} = 2 \cdot 960 \cdot 1,68 \cdot 1,75 / 0,575 \cdot 0,95 = 10303 \text{ кВт}$$

що менше допустимої потужності встановленого двигуна (13200кВт).

Для перевірки двигуна на перегрів необхідно виконати розрахунок еквівалентного моменту для усіх проходів. При цьому умова відсутності перегріву двигуна має наступний вид:

$$M_{\text{эк}} < M_{\text{ном}},$$

де  $M_{\text{эк}}$  - еквівалентний момент на валу двигуна;  $k_{\text{об}} = M_{\text{об}} / M_{\text{ном}} > 1$  - коефіцієнт перевантаження для реверсивних станів,  $k_{\text{об}} = 2 \dots 2,5$ ;  $M_{\text{об}}$  - розрахунковий момент прокатки.

Еквівалентний момент визначається з формули:

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum M_{\text{об}}^2 \cdot \tau_{\text{м}} + \sum M_{\text{хх}}^2 \cdot \tau_{\text{п}}}{\tau_{\text{м}} + \tau_{\text{п}}}}, \quad (2.49)$$

де  $M_{\text{хх}}$  - момент холостого ходу ( $M_{\text{хх}} \approx 0,05 M_{\text{дв}}$ );  $\tau_{\text{м}}$  і  $\tau_{\text{п}}$  - машинний час і час пауз у проході, с.

$$k_{\text{об}} = \frac{3,35}{4,56} = 0,73$$

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{3,35^2 \cdot 1,61 + (0,05 \cdot 3,35)^2 \cdot 2,5}{1,61 + 2,5}} = 2,1 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$2,1 < 2,28$  - перегріву двигуна немає.

Аналогічно розраховуємо енергосилові параметри у інших проходах. Результати розрахунку представлені у таблиці 2.3.

Виконаємо розрахунок енергосилових параметрів прокатки сляба за варіантом №1 для існуючого режиму деформації. Розрахунок виконуємо аналогічно як і для варіанту №2.

Результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки для існуючого режиму приведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 Енергосилові параметри прокатки сляба перетином 150×1250 мм за 13 проходів (Варіант №2)

№ проходу	$n_3$ , об/хв.	$n_B$ , об/хв.	$n_M$ , об/хв.	$n_{mp}$ , об/хв.	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\rho_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	P, МН	$\psi$	2M, МН·м	M <sub>ЭКВ</sub> , МН·м	2N <sub>ДВ</sub> , кВт
1	15	15	50	43,2	32,19	66,29	15,24	0,6	3,35	2,1	10303
2	15	25	50	46,5	33,6	67,86	15,59	0,58	3,34	2,09	11743
3	25	30	50	52,4	35,26	69,52	15,98	0,57	3,32	2,09	13580
4	30	40	50	58,5	37,17	71,18	16,36	0,54	3,27	2,18	14677
5	40	40	50	65	38,62	72,3	15,96	0,53	2,98	2,1	14140
6	40	40	50	67,7	40,42	73,82	15,6	0,51	2,7	1,97	12810
7	40	40	50	71,1	42,12	74,89	15,09	0,49	2,4	1,82	11410
8	40	45	50	75,9	46,15	78,07	15,74	0,46	2,35	1,85	11459
9	40	45	50	81,4	51,41	81,66	16,46	0,43	2,26	1,85	11049
10	40	45	50	87,9	56,85	84,72	16,56	0,39	2,04	1,72	9942
11	40	45	50	94	61,41	89,03	15,64	0,38	1,67	1,4	9050
12	40	45	50	100,7	62,72	89,66	14	0,37	1,31	1,12	7073
13	40	45	50	239,5	40,73	86,24	3,48	0,62	0,14	0,09	753

M<sub>ЭКВ</sub>. cp. 1,72

Таблиця 2.4 Енергосилові параметри прокатки сляба за 13 проходів згідно технологічних інструкцій (Варіант №1)

№ проходу	$n_3$ , об/х в.	$n_B$ , об/ хв.	$n_M$ , об/ хв.	$n_{mp}$ , об/ хв.	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\rho_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	P, МН	$\psi$	2M, МН·м	2M <sub>НОМ</sub> , МН·м	M <sub>ЭКВ</sub> , МН·м	2N <sub>ДВ</sub> , кВт
1	15	20	50	45,1	37,49	71,9	21,5	0,55	5,62	3,91	3,53	18561
2	20	30	50	49,7	33,25	67,4	14,2	0,59	2,83	2,58	1,74	11181
3	30	30	50	55,04	34,45	68,4	14,4	0,57	2,8	2,58	1,79	11814
4	30	30	50	56,9	34,95	68,6	13,8	0,56	2,51	2,58	1,67	10612
5	30	30	50	59,6	37,64	71,05	15	0,53	2,71	2,58	1,88	11444
6	30	30	50	62,3	38,94	72,03	14,5	0,52	2,43	2,58	1,75	10274
7	30	40	50	68,1	43,63	76,15	16,1	0,48	2,62	2,58	1,98	11765
8	40	40	50	75	45,26	77,83	14,8	0,47	2,15	2,58	1,69	10219
9	40	45	50	80,8	50,08	81,48	15,5	0,44	2,1	2,58	1,71	10235
10	40	45	50	86,1	53,69	83,84	15,1	0,42	1,82	2,58	1,52	8880
11	40	45	60	94	61,1	88,85	16,02	0,38	1,72	2,58	1,47	9527
12	40	45	60	100,7	61,4	88,92	13,4	0,38	1,23	2,58	1,05	6650
13	40	45	60	239,5	40,73	86,24	3,48	0,62	0,14	2,58	0,09	753

M<sub>ЭКВ.ср.</sub> 1,68



По результатам розрахунку енергосилових параметрів можна сказати, що стан працює не на повну потужність, тому можна спробувати розрахувати режим деформації сляба перетином  $150 \times 1250$  мм за 11 проходів.

Розрахунок режиму деформації і енергосилових параметрів прокатки за 11 проходів проводиться аналогічно як і для 13 проходів. Результати розрахунку зведені у таблиці 2.5 і 2.6.

Зменшення кількості проходів будемо робити за рахунок збільшення середнього обтиснення по проходам.

Обтиснення по проходам розподіляємо виходячи із максимально допустимого обтиснення, тому у першому проході обтиснення складає 74мм, а в інших проходах обтиснення не перевищують допустимі обтиснення з умови міцності валків і величини крутного моменту.

Таблиця 2.5 Розподілення обтисків по проходам при прокатуванні сляба 150×1250мм (однозиткова прокатка) ( $n_z = 30$  1/хв.,  $n_B = 40 = 1/хв.$ ) із злитка розмірами  $\frac{780 \times 1400}{690 \times 1360} \times 2200$  мм за 11 проходів (Варіант №3)

№ проходу	Горизонтальні валки		Установка вертикальних валків, мм	$\Delta h_B$ , мм	$\epsilon$	$\mu$	L, м	V, м/с	$l_d$ , мм	$t, ^\circ\text{C}$
	h, мм	$\Delta h$ , мм								
1	706	74	1370	30	0,09	1,12	2,48	1,65	196,1	1200
2	634	72	1370	25	0,1	1,11	2,77	2,02	193,4	1199
3	562	72	1340	30	0,11	1,15	3,19	2,1	193,4	1197
4	497	65	1340	51	0,11	1,13	3,61	2,1	183,8	1193
5	432	65	1310	30	0,13	1,17	4,25	2,25	183,8	1186
6	367	65	1310	57	0,15	1,17	5	2,55	183,8	1173
7	302	65	1280	30	0,17	1,24	6,21	2,7	183,8	1155
8	237	65	1280	65	0,21	1,27	7,92	2,78	183,8	1129
9	172	65	1250	30	0,27	1,41	11,17	2,78	183,8	1096
10	152	20	1250	70	0,11	1,13	12,64	2,78	101,9	1084
11	150	2	1250		0,01	1,01	12,81	2,78	32,2	1070

Таблиця 2.6 Енергосилові параметри прокатки сляба перетином 150×1250 за 11 проходів (Варіант №3)

№ проходу	$\Pi_3$ , об/хв	$\Pi_B$ , об/хв	$\Pi_M$ , об/хв	$n_{mp}$ , об/хв	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\rho_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$P$ , МН	$\psi$	$2M$ , МН·м	$M_{эKB}$ , МН·м	$2N_{ДВ}$ , кВт
1	10	15	50	42,35	33,06	67,07	16,45	0,59	3,79	2,42	10958
2	20	20	50	47,32	34,7	68,93	16,67	0,57	3,68	2,29	13084
3	20	20	50	50,21	36,31	70,07	16,95	0,55	3,6	2,31	13313
4	20	20	50	52,9	37,22	70,43	16,18	0,54	3,19	2,14	11773
5	20	30	50	58,2	39,97	72,7	16,71	0,51	3,12	2,21	12363
6	30	40	50	66,7	44,29	76,5	17,6	0,48	3,08	2,29	13811
7	40	40	50	75,7	49,94	80,7	18,57	0,44	2,98	2,35	14156
8	40	45	50	83,7	58,08	86,2	19,8	0,39	2,85	2,36	13923
9	40	45	50	95,7	69,53	94,03	21,61	0,35	2,79	2,43	13629
10	40	45	50	100,7	55,98	85,8	10,94	0,41	0,91	0,8	4438
11	40	45	50	101,3	40,33	85,3	3,44	0,62	0,14	0,1	673

M<sub>эKB</sub>. cp. 1,97

## 2.4 Аналіз результатів теоретичних досліджень режимів деформації

За результатами розрахунків побудували графіки залежності основних енергосилових параметрів від номеру проходу.

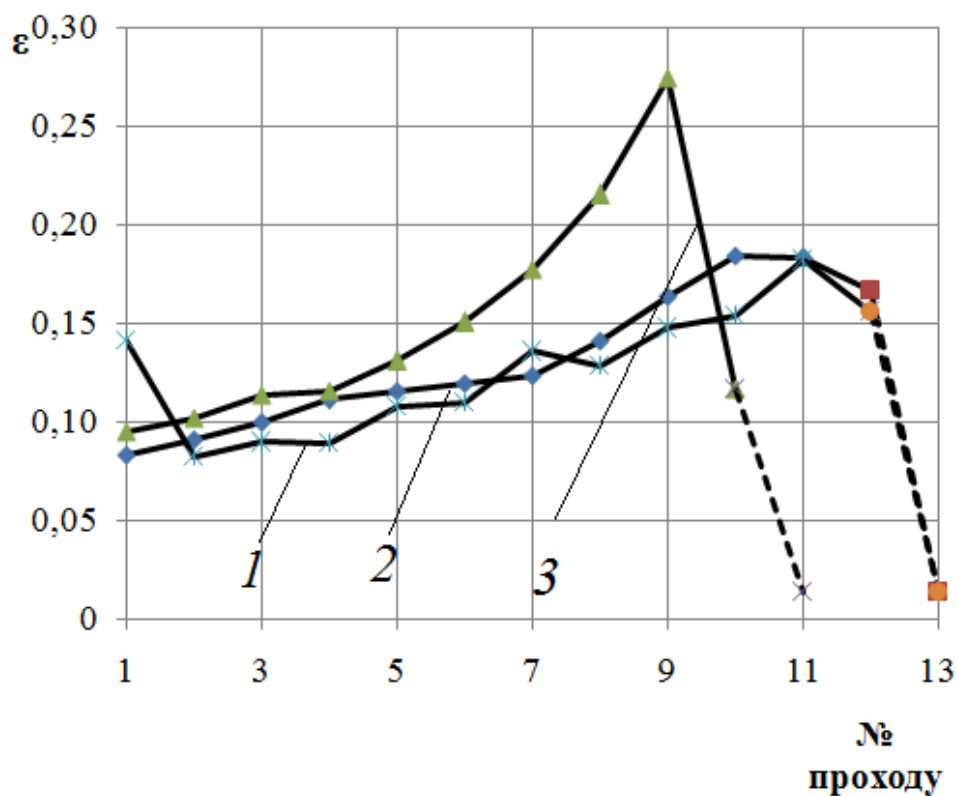


Рис. 2.2 Розподіл відносного обтиску по проходам (1 - 13 проходів згідно інструкції ; 2 - 13 проходів згідно розрахунку; 3 - 11 проходів)

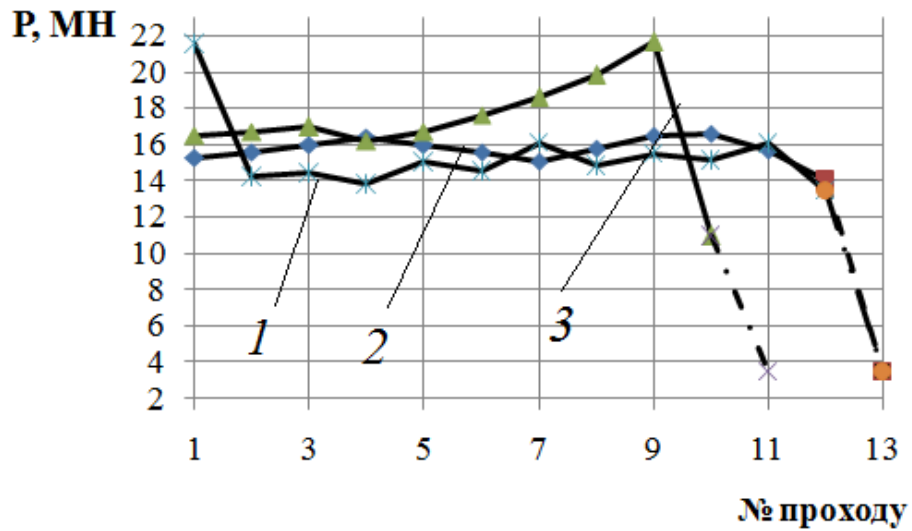


Рис. 2.3 Розподіл сили прокатки по проходам ( 1 - 13 проходів згідно інструкції; 2 - 13 проходів згідно розрахунку; 3 - 11 проходів)

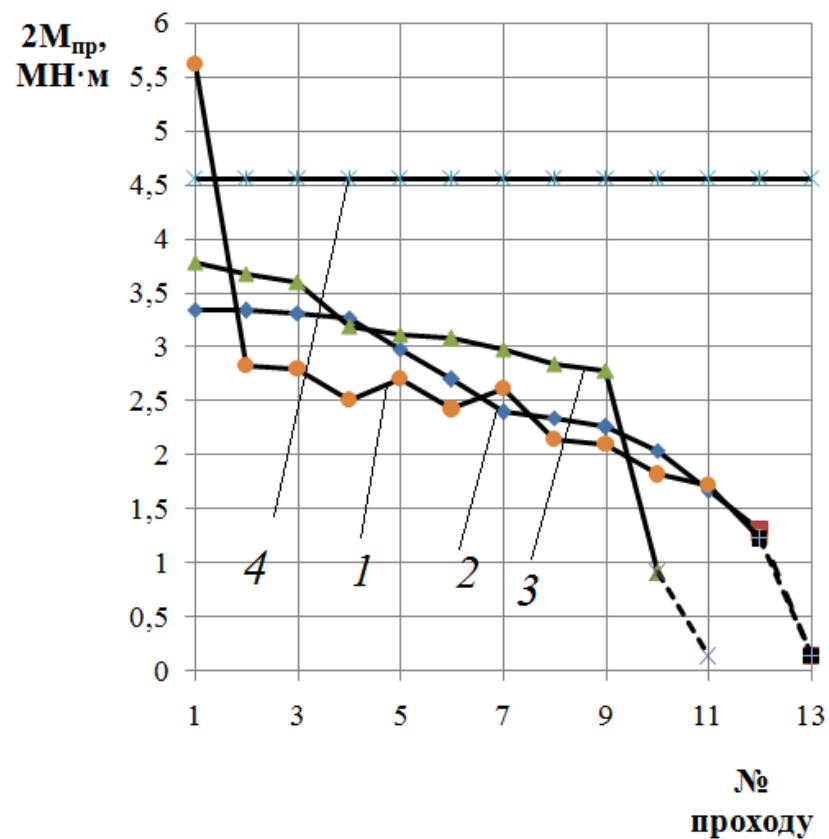


Рис. 2.4 Розподіл моменту прокатки по проходам ( 1 - 13 проходів; 2 - 13 проходів згідно інструкції; 3 - 11 проходів; 4 - номінальний момент)

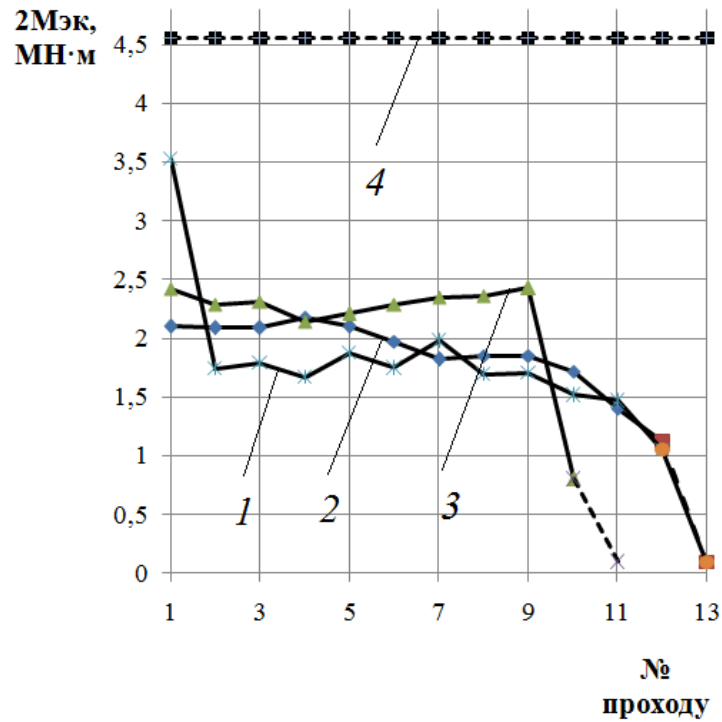


Рис. 2.5 Розподіл еквівалентного моменту прокатки по проходам ( 1 - 13 проходів згідно інструкції ; 2 - 13 проходів згідно розрахунку; 3 - 11 проходів; 4 - номінальний момент)

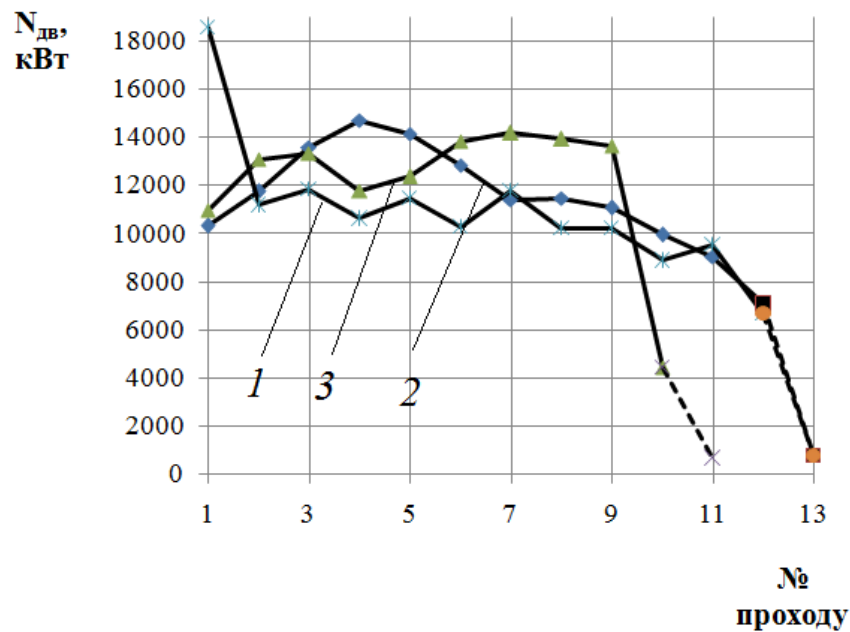


Рис. 2.6 Розподіл потужності двигуна по проходам (1 - 13 проходів згідно інструкції ; 2 - 13 проходів згідно розрахунку; 3 - 11 проходів).

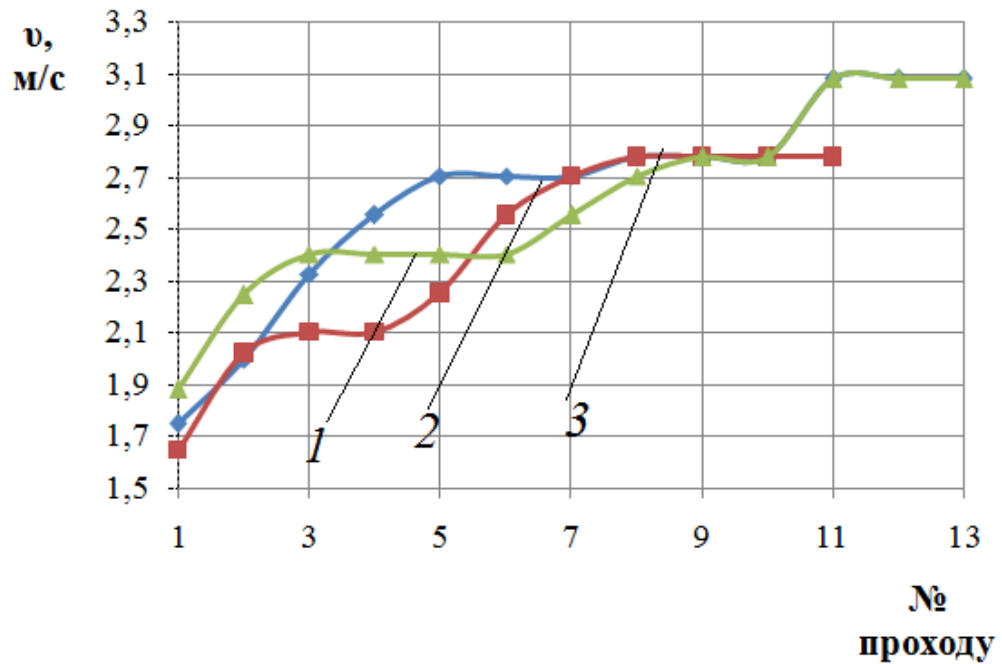


Рис. 2.7 Розподіл швидкості прокатки по проходам (1 - 13 проходів згідно інструкції; 2 - 13 проходів згідно розрахунку; 3 - 11 проходів).

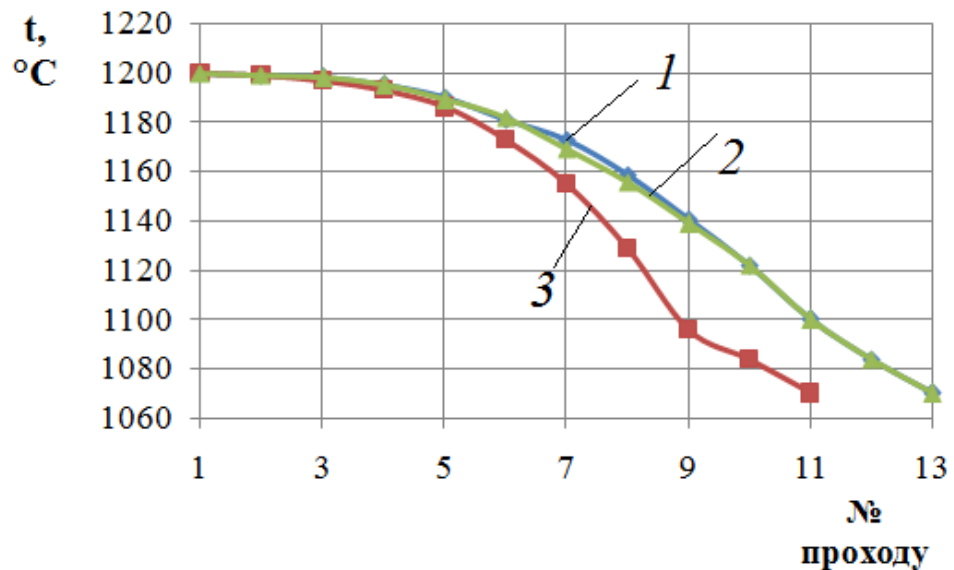


Рис. 2.8 Розподіл температури металу по проходам (1 - 13 проходів згідно інструкції; 2 - 13 проходів згідно розрахунку; 3 - 11 проходів).

По графікам видно, що при прокатуванні за 11 проходів на 9 прохід приходиться найбільше відносне обтиснення, а отже і найбільша сила прокатки. При цьому момент і потужність прокатки не перевищують

номінальні у кожному проході. При прокатуванні двигун не перегрівається, бо еквівалентні моменти кожного проходу не перевищують номінальний.

Можна зробити висновок, що режим деформації за 11 проходів може бути застосований на практиці.

## 2.5 Визначення річного виробництва слябінга

Згідно заводських даних продуктивність слябінга за рік складає приблизно 3,9 млн.т.

Визначимо максимальний час прокатки розкату з формули (2.7):

$$t_M = t_1 + t_2 + t_3$$

де  $t_1$  - розгін (прискорення) валків з розкатом;  $t_2$  - час прокатки розкату на максимальній швидкості;  $t_3$  - гальмування швидкості валків з розкатом.

Для розрахунку  $t_1$  і  $t_3$  приймаємо прискорення  $a=30$  об/хв·с, гальмування двигуна  $b=60$  об/хв·с. Час розгону і гальмування валків розраховуємо за формулою (3.8):

$$t_1 = \frac{n_M - n_3}{a} ; \quad t_3 = \frac{n_M - n_B}{b} ;$$

де  $n_3$  і  $n_B$  - частота обертання валків при захопленні і при виході його з валків,  $n_M$  - максимальна частота обертання валків.

Визначимо максимальний час прокатки для першого проходу.

Час розгону дорівнює:

$$t_1 = \frac{43,22 - 15}{30} = 0,94c$$

Час гальмування дорівнює:

$$t_3 = \frac{43,22 - 15}{60} = 0,47c$$

Визначимо довжину ділянок розкату, прокатаних у невстановленому режимі, середні швидкості валків на ділянках  $t_1$  і  $t_3$  дорівнюють по (2.9):

$$v_1 = \frac{\pi D_k (n_M + n_3)}{120} ; \quad v_3 = \frac{\pi D_k (n_M - n_B)}{120} .$$



$$v_1 = \frac{3,14 \cdot 1,04(43,22 + 15)}{120} = 1,58 \text{ м/с}$$

$$v_3 = \frac{3,14 \cdot 1,04(43,22 + 15)}{120} = 1,58 \text{ м/с}$$

Звідки довжини ділянок  $t_1$  і  $t_3$  з формули (2.10) дорівнюють :

$$L_1 = v_1 \cdot t_1 ; \quad L_3 = v_3 \cdot t_3 ;$$

$$L_1 = 1,58 \cdot 0,94 = 1,49 \text{ м}$$

$$L_3 = 1,58 \cdot 0,47 = 0,75 \text{ м}$$

Довжина сляба прокатаного при максимальній швидкості по формулі (2.11) дорівнює:

$$L_M = L_p - L_1 - L_3$$

де  $L_p$  - повна довжина розкату, яка визначається по вихідній довжині злитка і сумарній витяжці за дану кількість проходів

$$L_p = L_{сл} \cdot \mu_{\Sigma}$$

де  $L_{сл}$  - довжина злитка;  $\mu_{\Sigma}$  - сумарний коефіцієнт витяжка за  $i$ -ту кількість проходів.

$$L_p = 2,2 \cdot 1,12 = 2,47 \text{ м}$$

$$L_M = 2,47 - 1,49 - 0,75 = 0,24 \text{ м}$$

Тоді час прокатки на максимальній швидкості визначається наступним чином:

$$t_2 = \frac{120 \cdot L_M}{\pi \cdot D_k \cdot n_M}$$

$$t_2 = \frac{120 \cdot 0,24}{3,14 \cdot 1,04 \cdot 43,22} = 0,2 \text{ с}$$

Знаючи складові  $t_1$ - $t_3$  можна визначити повний машинний час за прохід:

$$t_M = 0,94 + 0,47 + 0,2 = 1,61 \text{ с}$$

Аналогічно визначаємо машинний час кожного проходу, результати зведені в таблицю 2.7.

Сумарний машинний час прокатки злитка дорівнює:

$$\sum t_M = 1,61 + 1,61 + 1,64 + 2 + 2,51 + 2,9 + 3,43 + 4,11 + 5,07 + 6,29 + 5,91 + 7,11 + 7,22 = 51,4$$

Паузи між проходами складають  $t_{пр} = 1,5-2,5с$ , а між злитками -  $t_c = 4-7с$ .

Сумарний час пауз дорівнює:

$$\sum t_n = (2,5 \cdot 12) + 7 = 37с$$

Сумарний час прокатки злитка (темп прокатки ) визначається за формулою (2.13):

$$T = \sum t_M + \sum t_n$$

$$T = 51,4 + 37 = 88,4с$$

Таблиця 2.7 Сумарний час прокатки злитка по проходам при прокатуванні за 13 проходів (Варіант №2)

№ проходу	L,м	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с	t <sub>M</sub> , с	t <sub>пр</sub> , с	t <sub>3</sub> , с	T, с
1	2,47	0,94	0,2	0,47	1,61	2,5		
2	2,72	1,05	0,2	0,36	1,61	2,5		
3	3,06	0,83	0,46	0,33	1,64	2,5		
4	3,45	0,67	1,16	0,17	2	2,5		
5	3,96	0,33	2	0,17	2,51	2,5		
6	4,49	0,33	2,4	0,17	2,9	2,5		
7	5,21	0,33	2,9	0,17	3,43	2,5		
8	6,06	0,33	3,6	0,08	4,11	2,5		
9	7,36	0,33	4,6	0,08	5,07	2,5		
10	9,02	0,33	5,8	0,08	6,29	2,5		
11	10,6	0,67	4,9	0,25	5,91	2,5		
12	12,6	0,67	6,1	0,25	7,11	2,5		
13	12,8	0,67	6,2	0,25	7,22			
Σ					51,4	30	7	88,4 (1хв. 29с)

Визначимо часову технічно можливу продуктивність стана:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{T} \quad (2.48)$$

де  $G$  - маса злитка

$$G = H \cdot B \cdot L \cdot \gamma \quad (2.49)$$

де  $\gamma$  - питома вага металу (7,85 т/м<sup>3</sup>)

$$G = 0,78 \cdot 1,4 \cdot 2,2 \cdot 7,85 = 18,8 \text{ т}$$

$$A = \frac{3600 \cdot 18,8}{88,4} = 767,9 \text{ т/год.}$$

Фактичний річний час роботи стана дорівнює:

$$T_{\phi} = (24 - 1,5)(k_{\Gamma} - k_{\text{пр}} - k_{\text{кр}})n_u \quad (2.50)$$

де  $n_u$  - коефіцієнт використання обладнання стану ( $n_u=0,92-0,95$ );

$k_{\Gamma}$  - кількість календарних днів у році;  $k_{\text{пр}}$  і  $k_{\text{кр}}$  - кількість днів відповідно на планово-попереджувальні ремонти (12) і на капітальний ремонт (7); 24 і 1,5 - число годин у добі і на змінний профілактичний ремонт стана на добу.

$$T_{\phi} = (24 - 1,5)(365 - 12 - 7) \cdot 0,93 = 7240 \text{ год.}$$

Річне виробництво на слябінгу визначають за формулою:

$$A_{\Gamma} = A \cdot T_{\phi} \quad (2.51)$$

$$A_{\Gamma} = 768 \cdot 7240 = 5,5603 \text{ млн.т}$$

Фактичне виробництво годного прокату визначаємо за формулою:

$$A_{\text{год}} = \frac{A_{\Gamma}}{k_{\text{рм}}} \quad (2.52)$$

де  $k_{\text{рм}}$  - коефіцієнт розходу металу,  $k_{\text{рм}} = 1,1 - 1,3$

$$A_{\text{год}} = \frac{5,5603}{1,3} = 4,2771 \text{ млн.т}$$

Час прокатки злитка по проходам за 13 проходів згідно технологічної інструкції приведено у таблиці 2.8

Таблиця 2.8 Результати розрахунку часу прокатки злитка за 13 проходів згідно інструкції (Варіант №1)

№ проходу	L,м	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с	t <sub>М</sub> , с	t <sub>пр</sub> , с	t <sub>з</sub> , с	T, с
1	2,64	1	0,2	0,42	1,63	2,5		
2	2,87	0,99	0,2	0,33	1,52	2,5		
3	3,2	0,67	0,75	0,33	1,75	2,5		
4	3,52	0,67	0,9	0,33	1,98	2,5		
5	4	0,67	1,3	0,33	2,34	2,5		
6	4,49	0,67	1,7	0,33	2,7	2,5		
7	5,28	0,67	2,5	0,17	3,35	2,5		
8	6,06	0,33	3,5	0,17	4,05	2,5		
9	7,22	0,33	4,5	0,08	4,96	2,5		
10	8,53	0,33	5,5	0,08	5,93	2,5		
11	10,68	0,67	4,9	0,25	5,91	2,5		
12	12,64	0,67	6,1	0,25	7,11	2,5		
13	12,81	0,67	6,2	0,25	7,22			
Σ					50,46	30	7	87,46 (1хв. 28с)

Продуктивність стана при прокатуванні за 13 проходів згідно технологічної інструкції складає 4,342 млн. т.

Розрахунок продуктивності для прокатування за 11 проходів робиться аналогічно як і для 13 проходів. Результати розрахунку сумарного часу прокатки зведені у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Результати розрахунку сумарного часу прокатки злитка за 11 проходів (Варіант 3)

№ проходу	L,м	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с	t <sub>М</sub> , с	t <sub>пр</sub> , с	t <sub>з</sub> , с	T, с
1	2,48	1,08	0,2	0,46	1,74	2,5	7	80,31 (1хв. 21с.)
2	2,77	0,91	0,2	0,46	1,57	2,5		
3	3,19	1	0,24	0,5	1,74	2,5		
4	3,61	1	0,55	0,5	2,05	2,5		
5	4,25	1	1,18	0,33	2,52	2,5		
6	5	0,67	2,3	0,17	3,14	2,5		
7	6,21	0,33	3,6	0,17	4,17	2,5		
8	7,92	0,33	5	0,08	5,48	2,5		
9	11,17	0,33	7,45	0,08	7,87	2,5		
10	12,64	0,33	8,53	0,08	8,95	2,5		
11	12,81	0,33	8,65	0,08	9,07			
Σ					48,3	25	7	80,31 (1хв. 21с.)

З розрахунку видно, що при прокатуванні за 11 пропусків сумарний час прокатки менший і продуктивність складає 4,6936 млн.т, що на 0,4165 млн.т більше ніж при прокатуванні за 13 розрахункових проходів.

Результати розрахунку показані на рисунку 2.9.

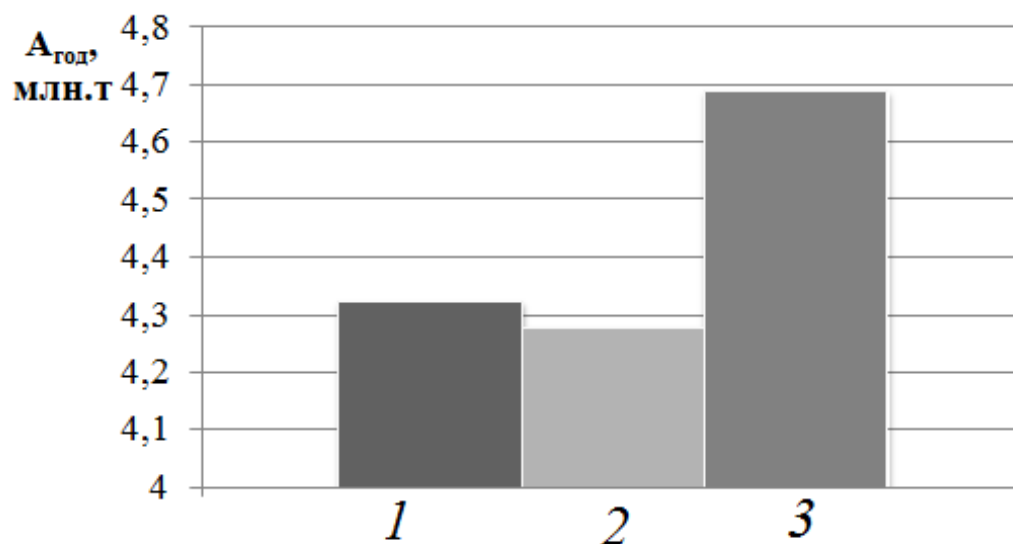


Рис. 2.9 Продуктивність при прокатуванні за різними режимами обтиснень. 1 - прокатка за 13 проходів згідно технологічної інструкції (Варіант №1); 2 - прокатка за 13 проходів згідно розрахунку (Варіант №2); 3 - прокатка за 11 проходів (Варіант №3).

### 3. ВИСНОВКИ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОВЕДЕНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕЖИМІВ ДЕФОРМАЦІЇ

При використанні режиму деформації за 11 проходів, змінюються енергосилові параметри прокатки сляба. По енергосиловим параметрам прокатки видно, що для прокатування за 11 проходів використовується менша потужність прокатки ніж для 13 проходів, що призводить до економії електроенергії.

При прокатуванні за 11 проходів потужність за всі проходи дорівнює 122121кВт, а за 13 проходів 137988 кВт, отже економія складає 11,49%.

Знайдемо економію електроенергії на тону прокату, знаючи що заводський розхід електроенергії на тону прокату складає 5,6 кВт·ч на тону:

$$5,6 \cdot \frac{100 - 11,49}{100} = 4,95 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$$

Значить вартість електроенергії на тону прокату буде дорівнювати (вартість одного кВт електроенергії для підприємств дорівнює 1,2 грн.):

$$4,95 \cdot 1,2 = 5,94 \text{ грн/т}$$

Визначимо вартість електроенергії на рік для прокатки за 11 проходів знаючи річну продуктивність стана, яка складає 4,6936 млн.т:

$$4693600 \cdot 5,94 = 27879984 \text{ грн}$$

Вартість електроенергії на рік для прокатування за 13 проходів складає:

$$5,6 \cdot 1,2 \cdot 4277100 = 28742112 \text{ грн}$$

Значить, якщо прокатувати розкат за 11 проходів загальна економія на електроенергії за рік складатиме:

$$28742112 - 27879984 = 862128 \text{ грн}$$

Така економія грошей для бюджету підприємства є значним економічним ефектом. Зниження використання електроенергії на тону

прокату знижує собівартість продукції, а отже робить підприємство більш конкурентоспроможним.

У кваліфікаційній роботі передбачено удосконалення режиму деформації сляба перетином 150×1250 мм з метою підвищення продуктивності виробництва.

У ході розрахунків виявили, що підвищити продуктивність можна за рахунок зменшення кількості проходів і збільшення значення середнього обтиснення в межах допустимого. Зменшення кількості проходів з 13 до 11 дозволило збільшити продуктивність виробництва слябів з 4,277 млн.т до 4,6936 млн.т , що складає 8,87%.

Зменшення кількості проходів до 11 призвело до зниження використання електроенергії на 11,6% у порівнянні із прокаткою за 13 проходів.

Річний економічний ефект за рахунок зменшення використання електроенергії складає 862128 грн.

Режим деформації за 11 проходів є практично можливим і економічно вигідним, що підтверджують виконані розрахунки.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Обтискний цех ПАТ «Запоріжсталь» оснащений різноманітним механічним і електричним підйомно-транспортним устаткуванням, обслуговування якого вимагає чіткого дотримання правил техніки безпеки й норм виробничої санітарії. Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних операцій, інтенсивністю вантажопотоків і різноманітністю метеорологічних умов на різних ділянках.

На виробництві застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці:

- огорожувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною й небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або неправильності його дій;
- запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів - відключення устаткування при порушенні контролюючого параметра (температури, переміщення, величини струму або напруги, зусилля);
- гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машин і устаткування;
- блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані;
- сигналізація перед наступаючою небезпекою (світлова, звукова).

Умови праці характеризуються наявністю таких шкідливих факторів, як запиленість, загазованість, тепловипромінювання й шум. Багато основних і допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних елементів у пилу пропорційно хімічному

вмісту сталі. Основними джерелами виділення шкідливих газів служать нагрівальні пристрої, прокатні стани й інше технологічне устаткування.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, що випромінюється нагрітими заготовляями й устаткуванням стана. Виділення тепла на деяких ділянках досягає  $936 \text{ Вт/м}^2$  при нормативних значеннях  $140 \text{ Вт/м}^2$ . Інтенсивне інфрачервоне випромінювання, крім прямого впливу на робітників, нагріває навколишні поверхні і предмети, які стають додатковими потужними джерелами тепловиділення. В результаті повітря цеху в теплий період року значно нагрівається до  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ . У холодний період року тепловиділення, створюючи сильний тепловий напір, сприяє інтенсивному повітрообміну, за рахунок якого повітря робочої зони нерідко значно переохолоджується.

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми, супроводжується транспортування металу по рольгангах, прокатка на стані, різка на ножицях.

Шум, вироблений від прокатки металу прокатним станом, рольгангами, ножицями та іншими приладами становить  $85 \text{ дБА}$  при нормативних значеннях  $80 \text{ дБА}$ .

У технологічних процесах цеху основними потенційними небезпеками є ураження електричним струмом, рухомі машини і механізми. Джерелами прихованої небезпеки дії електричного струму служать електроустановки. Робота електротермічного устаткування створює небезпеку теплового ураження персоналу.

Для робочого місця оператора управління слябінгом 1150 відповідно до гігієнічної класифікації дана характеристика трудового процесу і оцінка чинників виробничого середовища, яка представлена в табл. 4.1

Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволяє зробити висновок, що робоче місце має в наявності 2 чинника I ступеня, 2 чинника II

ступеня, 1 чинник III ступеня. За показниками робоче місце слід вважати зі шкідливими і важкими умовами праці.

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого й трудового процесу оператора управління слябінгом 1150 ПАТ «Запоріжсталь»

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДЗ)	Факт. знач.	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> <u>1 клас безпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,011	1,1 р.			90
	Оксид марганцю	0,3	0,28				90
	<u>III клас безпеки</u>						90
	Ангідрид сірчастий	10	6,5				90
	Вуглецю оксид	20	6,25				90
	Масла мінеральні	5,0	3,95				
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	8,5		2,13 р.		90
3	Шум, дБА	80	85	5			100
4	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря <sup>0</sup> С;	16-27	37			10	90
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,2-0,5	0,4				
	- відносна вологість повітря, %;	40-60	45				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	936		936		83
5	Тяжкість і напруженість праці	Категорія робіт - важка, III напружена					

#### 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Пил виявляє шкідливу дію на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні

професійні захворювання, такі як силікоз, силікатоз, антракоз та ін. [25].

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів з аспірацією пилу з місць її утворення, а також зрошування водою при різних робочих операціях, пов'язаних з пилоутворенням. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратора ШБ-2 «лепесток», який усуває дію пилу на організм працюючих [26].

Заходами щодо зменшення загазованості є: забезпечення постійного нагляду за дотриманням технологічних інструкцій і інструкцій з техніки безпеки; дотримання затверджених технологічних режимів; проведення регулярних профілактичних оглядів устаткування й газових комунікацій для своєчасного згоряння газу й справності системи видалення продуктів згоряння.

Для поліпшення мікроклімату на робочих місцях передбачена природна і механічна подача повітря душируючими установками з обробкою повітря на типових кондиціонерах до постійних робочих місць.

Також потрібна витяжна вентиляція за допомогою місцевих відсмоктувань і механічної вентиляції з верхньої зони, і природна загальнообмінна вентиляція з верхньої зони [26].

Для обігріву цеху в зимову пору року уздовж стін на ділянках, де працюють люди, встановлене водяне опалення. Для перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД-300. Вони розташовані так, щоб від них струмінь примусової подачі повітря сковзав уздовж прольоту.

Для огороження припливу холодного повітря ззовні під час в'їзду й виїзду транспорту над воротами встановлені пристрої для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20<sup>0</sup>С.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу.

З метою забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху

передбачені три ряди отворів для природної вентиляції: 1 ряд - на рівні 1,5 м від підлоги; 2 ряд - на рівні 4,5 м від підлоги.

У прокатному цеху застосовується природне й штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 роботи, що виконуються персоналом, відносяться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення.

Для загального освітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становить 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне, яке забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу.

У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь, потребує обслуговування при аварійних режимах, становить 5 % освітленості, нормованої для загального робочого освітлення, але не менш 2 лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5 лк.

Надмірний шум негативно позначається на продуктивності праці. Тривала дія шуму може призвести до зниження слуху, а іноді до глухоти. Шум негативно впливає на серцево-судинну і центральну нервову систему.

Для захисту виробничого персоналу від шуму устаткування його повністю закривають герметично звукоізолюючим кожухом, який виготовляють зазвичай із сталевих листів товщиною 2-3 мм, а внутрішні

поверхні облицьовували звукопоглинальними матеріалами. Якщо це не зробити, то за рахунок хорошої відбивної здатності сталевих листів рівень шуму усередині кожуха різко підвищиться і його фактична звукоізоляція виявиться зменшеною на 18-20 дБА. Звукоізолюючий кожух встановлюють на пружних прокладеннях, а машину ретельно віброізолюють від фундаменту, не допускаючи жорстких контактів між машиною і кожухом. Отвори для циркуляції повітря і проходу комунікацій забезпечуються глушниками шуму або герметизуються сальниками.

Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха «беруши» і противошумові навушники.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, випромінюваного нагрітими заготівлями й устаткуванням стана. Підвищена теплова дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Посилене потовиділення при напруженій м'язовій роботі в умовах підвищеного температурного режиму призводить до втрати кров'ю хлористого натрію, що є основним елементом що утримує в крові воду. Вимивання з'єднань хлору з організму призводить до пониження кислотності шлункового соку і виникнення шлунково-кишкових захворювань [27].

Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини стінки і колони мають бути теплоізольовані, а над печами мають бути влаштовані зонти з витяжними трубами. З боків електропечей для захисту від променистого тепла мають бути влаштовані екрани у вигляді щитів з металевих листів і азбесту або сіток, безперервно зрошуваних водою. Також використовують спеціальний одяг для запобігання працюючих у гарячому цеху від впливу теплового випромінювання й опіків.

### *Заходи з електробезпеки*

На ділянках стана потенційно небезпечними виробничими факторами є: пересування електромостових кранів і транспортерного візка з вантажем або без нього, частини механізмів клітей, що обертаються, рух зливків і слябів по лінії стана [28].

Пересування по території стана дозволяється тільки по встановлених переходах. При пересуванні або виконанні робіт працівники повинні бути уважні до сигналів операторів електромостових кранів, і до роботи світлової сигналізації, не перебувати під піднятим вантажем і на шляху руху передатних візків.

Працюючим на стані необхідно [28]:

- прийняти й здати зміну на робочому місці, доповісти старшому майстрові;
- працювати в чистому, справному спецодязі й спецвзутті, покладеної по нормах для кожної професії;
- користуватися відповідними засобами захисту й запобіжними пристосуваннями;
- виконувати доручену роботу з дотриманням всіх вимог інструкції з техніки безпеки й промислової санітарії;
- виконувати вказівки бригадира й майстра;
- виконувати вимоги попереджувальних написів і плакатів ТБ;
- не приступати до роботи, якщо умови її виконання суперечать інструкціям з техніки безпеки або іншому документу, що регламентує безпечне ведення робіт, а також без інструктажу з техніки безпеки при тимчасовому перекладі на іншу роботу;
- під час роботи бути уважним, не відволікатися й не відволікати інших;
- не допускати на робоче місце осіб, що не мають відносини до роботи; виконувати правила пожежної безпеки й промислової санітарії й особистої гігієни;

- не залишатися байдужим до порушення інструкцій іншими робітниками.

При одержанні навіть незначної травми негайно звернутися в медпункт і сповістити про це майстрові, а при його відсутності бригадирові, старшому робітникові або товаришеві по роботі, надати першу допомогу потерпілому.

При виявленні порушень, які можуть привести до аварій і нещасних випадків, негайно припинити роботу сповістити про це майстрові або бригадирові.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП III-33-76 відноситься до зони класу В-І б - це зони, розташовані в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛЗР із повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Фактичне значення струму на ділянці  $I=5,9$  А, напруги -  $U=220, 380$  В.

Однією з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції. При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині, броні кабелю й т.д.), які в нормальному положенні не перебувають під напругою. При сполученні з металевими конструкціями, які оказались під напругою, виникає небезпека поразки електричним струмом.

У цеху з підвищеною температурою повітря використовують наступні міри захисту від поразки електричним струмом [28]:

- захист від дотику до струмоведучих частин;
- захист від дотику до устаткування, що випадково оказались під напругою;
- захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У цеху застосовують огороження й ізоляцію струмоведучих частин, розміщають їх на недоступній висоті, використовують знижену напругу.

Також застосовують захисне заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини



напруги щодо землі на металевих частинах, які опинилися випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпеку поразки людини.

При обслуговуванні електроустановок застосовують захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки й при користуванні яким допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою.

Також застосовують засоби захисту, що підсилюють дії основних засобів і які забезпечують безпеку при нарузі дотику й кроковій нарузі.

До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки й ін.

### ***Заходи з пожежної та техногенної безпеки***

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту й заходами організаційного характеру. Цех гарячої прокатки по небезпеці виробництва відноситься до категорії В [29].

Причинами пожеж можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, пристрої комунікацій, дефекти устаткування, порушення режимів технологічних процесів, неправильне ведення робіт, необережність і недбалість персоналу, самозаймання, розряди атмосферної і статичної електрики.

До основних умов запобігання пожежі відносяться запобігання утворення пожежного середовища й появи джерел загоряння.

До організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки відносяться пожежна охорона об'єкта, розробка й здійснення правил і норм пожежної безпеки, правил дотримання протипожежного режиму й установлених заходів щодо ліквідації виниклої пожежі.

Пожежі на підприємствах виникають із причин:

- вибухів;
- порушень у технологічних процесах виробництва норм і правил

протипожежної безпеки технологічного режиму;

- неполадки в роботі пристроїв;
- неправильна експлуатація електромереж і устаткування;
- відсутності захисту від розрядів статичної електрики й розрядів грози;
- порушення норм збереження пожежонебезпечних несумісних матеріалів, вибухонебезпечних речовин;
- халатне поводження з вогнем: залишення без нагляду нагрівальних приладів, тимчасових металевих печей, паління в заборонених місцях, відігрівання замерзлих труб відкритим вогнем і т.п.;

До організаційних протипожежних мір відносяться:

- розробка правил і інструкцій із протипожежної безпеки;
- організація вивчення правил і інструкцій із протипожежної безпеки;
- організація протипожежної служби, пожежної технічної комісії (ПТК) і добровільних пожежних дружин (ДПД);
- розробка й затвердження плану порядку оповіщення людей, які встановлюють обов'язки й дії, що працюють на випадок виникнення пожежі.

Головну пожежну небезпеку становлять вибухи газу. Для нього характерно те, що він на відміну від звичайних пожеж становить безпосередню небезпеку для життя працюючих. Цей процес виникає раптово й протікає настільки швидко, що робітники не встигають покинути робочі місця.

Значну пожежну небезпеку представляють нагрівальні пристрої з високою температурою поверхні.

Застосування відкритого вогню в приміщеннях збільшує пожежну небезпеку.

При застосуванні електричного опалення можливі перегрів і запалення ізоляції проведення й виникнення короткого замикання, що може спричинити пожежу.

До найбільш імовірних причин перегріву проводів варто віднести проходження струму надмірно великої величини й виникнення більших

місцевих опорів внаслідок неправильного пристрою або монтажу електроустановок.

Для запобігання загоряння ізоляції й короткого замикання проводів застосовують плавкі запобіжники або спеціальні автомати, що відключають мережу при перевантаженні.

Електрична дуга, що має температуру вище  $300^{\circ}\text{C}$ , представляє більшу пожежонебезпеку. Тому конструкція й режим експлуатації повинні виключати утворення електричної дуги. Якщо утворення електричної дуги пов'язане з режимом експлуатації, то в таких випадках застосовують додаткові пружні ножі для рубильників і дугогасильний пристрій у вигляді посудин, заповнюваних трансформаторним маслом.

Особливої уваги заслуговує виконання вогненебезпечних робіт.

Тимчасові небезпечні роботи допускаються по письмовому дозволу адміністрації із вказівкою умов безпечного виконання таких робіт. Це положення відноситься до електро- і газозварних робіт, до промивання деталей при ремонті устаткування горючими розчинниками.

Для гасіння пожеж у спорудженнях використовують внутрішні пожежні крани, які встановлюються на стояках внутрішнього водопроводу.

Пожежні крани розміщують у нішах, шафах на видних і доступних місцях (у коридорах, на сходових клітках).

На дверцятах шафи пожежного крана повинні бути позначені:

- літерний індекс ПК;
- порядковий номер пожежного крана й номер телефону найближчої пожежної частини.

Вода прохолоджує зону горіння нижче температури самозапалювання й розбавляє горючі речовини до негорючого стану.

Гасіння пожеж в електроустановках, горіння лаків, фарб, розчинників, бензину, горючого або дизельного палива, двигунів внутрішнього згорання, автомобілів, а також особливо коштовних матеріалів і устаткування водою заборонено.

Піна використовується для гасіння загорянь всіх твердих речовин, які гасяться водою. Вона швидко припиняє доступ кисню до зони горіння. Тому піна ефективніше води. Створюється піна за рахунок хімічної реакції кислотної й лужної частин у спеціальному устаткуванні (машинах) і вогнегасниках.

Пісок використовується для гасіння пожежі на електроустановках під напругою, різних рідин, карбїду кальцію, автомобілів, двигунів внутрішнього згоряння. Пісок прохолоджує зону горіння, припиняє доступ кисню, ізолює й гальмує реакцію горіння.

Вуглекислота сприяє утворенню газу в 400- 500 разів швидше, а його випар утворенню снігу з температурою - 79<sup>0</sup>С, що інтенсивно відбирає теплоту в зоні горіння. Для гасіння пожеж застосовують: ручний пінний вогнегасник ВП-5, ручні вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5, ВВ-8.

При виникненні пожежі одночасно з гасінням організовується евакуація матеріальних цінностей та працівників, для чого використовується обслуговуючий персонал підприємства. У виробничих будівлях передбачаємо евакуаційні виходи, призначені для забезпечення безпечної евакуації людей, що перебувають в будівлі, у разі виникнення пожежі або аварії. Передбачаємо мінімум два евакуаційні виходи. Ширина всіх евакуаційних виходів (дверей) перевищує 0,8 м, що відповідає нормам [29]. Двері відчиняються у напрямі виходу із приміщень і будівель. Сходові марші обладнуємо пристроями, призначеними для видалення диму, зниження температури і концентрації продуктів горіння в зоні пожежі і суміжних із ним приміщеннях з метою забезпечення необхідних умов для евакуації працівників і роботи пожежних підрозділів. Цими пристроями є вікна і шахти димовидалення.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі передбачено удосконалення режиму деформації сляба перетином  $150 \times 1250$  мм з метою підвищення продуктивності виробництва.

У ході розрахунків виявили, що підвищити продуктивність можна за рахунок зменшення кількості проходів і збільшення значення середнього обтиснення в межах допустимого. Зменшення кількості проходів з 13 до 11 дозволило збільшити продуктивність виробництва слябів з 4,277 млн.т до 4,6936 млн.т, що складає 8,87%.

Зменшення кількості проходів до 11 призвело до зниження використання електроенергії на 11,6% у порівнянні із прокаткою за 13 проходів.

Річний економічний ефект за рахунок зменшення використання електроенергії складає 862128 грн. Режим деформації за 11 проходів є практично можливим і економічно вигідним, що підтверджують виконані розрахунки.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ніколаєв В.А. Теорія прокатки. Видання четверте, перероблене, доповнене: учбовий посібник. Запоріжжя : ЗГИА, 2014. 258с.
2. Антипин В.Г., Д.К. Нестеров, В.Г. Кизиев. Прокатные станы. Справочник. В 3-х томах. Т.3. Листопрокатные станы и профилегибочные агрегаты.
3. Серода Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.
4. Николаев В.А. Горячая прокатка листов и полос. Ч.1. Издание четвертое, переработанное, дополненное: учебное пособие. Запорожье : ЗГИА, 2014. 176 с.
5. Производство передельных и товарных слябов из слитков углеродистых, низколегированных и высокоуглеродистых марок сталей. Технологическая инструкция. ТИ 226-П.ОЗ-10-2005 - Запорожье, 2005
6. Николаев В.А. Теория процессов прокатки. Учебное пособие. Запорожье : ЗГИА, 2004. 183с.
7. Серода Б.П., Коваленко А.К., Белоконь Ю.А. Технология производства прутков из стали 40 ХГМ диаметром 200...275 мм. Металургія. 2010. Вип. 21. С. 166-170.
8. Бондаренко Ю.В., Белоконь Ю.О. Проценко В.М., Явтушенко А.В., Кругляк Д.О. Вдосконалення технології сортової прокатки дуплексної неіржавкої сталі з метою поліпшення якості металу. Металургія. 2021. Вип. 2. С. 75-79.
9. Серода Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.
10. Николаев В.А. Нормальные контактные напряжения при переменных параметрах по дуге контакта при прокатке полос. Металл и литье Украины, 2008. №11,12. С.14-16.

11. Николаев В.А. Угол критического сечения при прокатке высоких полос. Изв. вузов. Черная металлургия, 1966, № 10. С. 62-65.
12. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
13. Ніколаєв В.О. Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 320с.
14. Серєда Б.П., Белоконь Ю.О. Теорія прокатки : навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 102 с.
15. Николаев В.А. Методика расчета режима деформации на непрерывном стане холодной прокатки. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2004. №6. С. 47-52.
16. Серєда Б.П., Белоконь Ю.О., Оніщенко А.М. Теорія обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 132 с.
17. Belokon Y., Temin H. The research thermoplastic deformation modes of dual-phase special alloys for obtaining rational intermetallic structure. *METAL 2021 - 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. (Brno, May 26 – 28, 2021)*. Brno, 2021. P. 348-353.
18. Серєда Б.П., Кругляк І.В., Белоконь Ю.О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 168 с.
19. Серєда Б.П., Коваленко А.К., Бабаченко Е.В., Белоконь Ю.А. Разработка математических моделей напряженно-деформированного состояния металла, обеспечивающих комплексную технико-экономическую оценку исследуемых процессов. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях*. Харьков : НТУ "ХПИ". 2011. № 47. С. 81-83.
20. Бадинг В., Функе П., Кооц Т. Влияние программы обжатий и размеров слитков на выход годного при прокатке слябов. Черные металлы (пер. с нем.). 1977. № 25. С. 27 - 35.
21. Николаев В.А., Васильев А.Г. Исследование влияния профиля валков на течение металла при прокатке толстых полос. *Сталь*. 2002, № 12. С. 41- 43.

22. Николаев В.А., Путноки А.Ю. Прокатка широкополосной стали. Київ : Освіта України, 2009. 268с.
23. Николаев В.А, Волков И.А., Маслов В.А. Влияние профилировки валков слябинга на технологические параметры прокатки. Известия вузов. Черные металлы, 1981, №7. С. 49 - 51.
24. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков Киев : Техніка, 1992. 158с.
25. Панасейко С.П., Тарасов В.К., Павленко Ю.П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье : Изд-во ЗГИА, 2002. 56 с.
26. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / Жидецький В.Ц. Львів : Афіша, 2002. 320 с.
27. Трахтенберг А.М. Гигиена труда и производственная санитария. Трахтенберг А.М., Коршун М.М., Чебанова О.В. Киев, 1997. 462 с.
28. Вышинский В.В., Ленский Ю.Н., Комов И.Г. и др. Охрана труда в черной металлургии. / 2-е изд. перераб. и доп. Киев : Техника, 1986. 192с.
29. Рожков А.П. Пожарная безопасность на производстве / Рожков А.П. Київ : Охрана труда, 1997. 448 с.