

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 Аналіз та вдосконалення режимів прокатування металу на  
обтискних станах

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1361-омт-д

Щебликін О.Ю.

(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 Белоконь Ю.О.

Запоріжжя - 2022 року

**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

“ 08 ” 09 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Щебликін Олексій Юрійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз та вдосконалення режимів прокатування металу на обтискних станах

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 “02” 06 2022 року № 597-с

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 08 грудня 2022

3. Вихідні дані до роботи (проекту) Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація обтискного цеху ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналіз наукової інформації і стан проблеми. Дослідницько-розрахункова частина, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
*Креслення, презентаційний матеріал 9 слайдах (на 9 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 08.09.2022

---

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>12.09.2022-13.10.2022</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>12-16.10.2022</i>	
3	<i>Аналіз наукової інформації і стан проблеми</i>	<i>19.10-30.10.2022</i>	
4	<i>Дослідницько-розрахункова частина</i>	<i>30.10-07.11.2022</i>	
4	<i>Механічна частина</i>	<i>07-30.11.2022</i>	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>01-09.12.2022</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>09.12.2022</i>	

Студент \_\_\_\_\_ О.Ю. Щєбликін  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль пройдено  
Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Ю.О. Белоконь

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 Аналіз наукової інформації і стан проблеми .....	6
1.1 Способи виготовлення слябів .....	6
1.2 Прокатка зливків .....	9
1.3 Заходи щодо усунення недоліків технологічного процесу .....	17
1.4 Розрахунок параметрів прокатки на стані слябінг 1150 комбінату ВАТ «Запоріжсталь».....	19
1.5 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки у горизонтальних та вертикальних валках .....	32
1.6 Розрахунок річного виробництва прокатного стану .....	44
2 Дослідницько-розрахункова частина .....	47
2.1 Використання теплоізолюючих екранів .....	47
2.2 Розрахунок показників деформації і енергосилових параметрів прокатування в горизонтальних валках після реконструкції .....	52
3 Висновки і економічна ефективність проведених теоретичних досліджень режимів деформації.....	58
4 Охорона праці та техногенна безпека .....	60
4.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	60
4.2 Заходи з поліпшення умов праці на стані слябінг 1150 .....	62
4.3 Пожежна та техногенна безпека.....	65
4.4 Розрахунки екрана для захисту від теплового випромінювання .....	69
ВИСНОВКИ .....	71
ПРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	72

## ВСТУП

Основними методами виготовлення металевих деталей і їх напівфабрикатів є лиття, обробка тиском і обробка різанням. Особливе місце займає обробка тиском, яка полягає в пластичній зміні форми металу за допомогою його деформування. В процесі пластичного деформування змінюється структура металу і підвищуються його механічні властивості. Тому найбільш навантажені деталі машин виготовляють обробкою тиском.

Технічне переозброєння, впровадження найбільш прогресивних технологічних процесів нерозривно пов'язане зі створенням надійного, економічного, високопродуктивного технологічного обладнання, при одночасному зниженні металоємності і енергоспоживання, а також створенням систем машин, призначених для комплексної механізації і автоматизації виробництва [1-3].

Відомо, що для нормального процесу прокатки, валки повинні займати в робочій клітці певне положення. Для цього в кожній робочій клітці передбачені натискні механізми й пристрої зрівноважування верхнього валка.

Продуктивність обтискного стану визначається швидкістю натискного пристрою. Разом з тим час роботи останнього пов'язане з інтенсивністю зношування гвинтових пар і їх терміном служби. Крім того, ексцентриситет геометричної осі гвинта стосовно осі обертання, внаслідок чого виникає биття і перекося натискного гвинта в гайці. Зазначені причини викликають появу інтенсивних зосереджених навантажень і локальних джерел тепла на робочих поверхнях витків різьблення гвинта та гайки.

Стійкість бронзових гайок натискних пристроїв блюмінгів і слябінгів невисока, що приводить до позачергових простоїв станів. Основним способом збільшення стійкості гайок є вирівнювання навантаження по витках різьблення шляхом зміни форми тіла гайки. Ці недоліки стосуються і гвинтової пари натискного пристрою, що застосовується на комбінаті ВАТ «Запоріжсталь».

## 1 Аналіз наукової інформації і стан проблеми

### 1.1 Способи виготовлення слябів

Сляб (англ. *slab* - плита, пластина) — плоска заготовка прямокутного перетину, виготовлена з рідкого металу на установках безперервного розливання сталі або прокатана з сталевого зливку на слябінгу (рідше блюмінгу, блюмінгу-слябінгу). Зі слябів виготовляють листовий прокат [4].

Сьогодні сляби (плоскі заготовки) з відношенням сторін  $B/h > 3$  ( $B$  – ширина сляба;  $h$  – товщина сляба) роблять на обтискних станах (слябінгах) і машинах безперервного лиття заготовок (МНЛЗ).

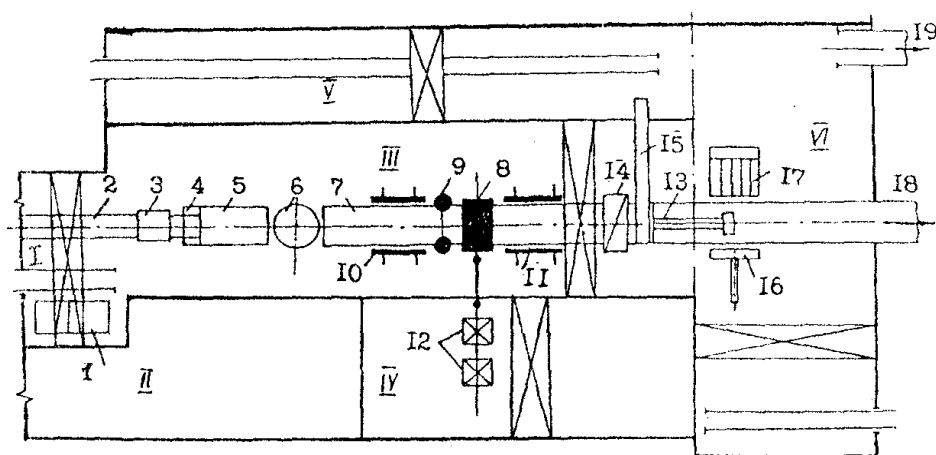
Безперервне розливання рідкої сталі є прогресивним і високоефективним процесом виробництва листових слябів [5]. Переваги одержання напівпродукту необхідних розмірів по перетину з рідкої сталі, минаючи звичайні обтискні агрегати, важко переоцінити. При цьому не тільки досить значно скорочується процес виробництва слябів і зменшуються капітальні витрати, але й різко підвищується якість заготовок і знижується витрата металу. Наприклад, при методі «плавка на плавку» в обрізь попадає лише сама незначна частина заправного кінця на початку розливання.

Першим МНЛЗ, що одержали промислове застосування були машини вертикального типу, а в цей час установлюють МНЛЗ радіального типу, які мають меншу висоту й сполучаються з безперервним прокатним станом в одному комплексі. Докладніше технологічний процес на такому комплексі буде розглянутий нижче. Тут же познайомимося з технологічним процесом прокатки на слябінгах, які ще функціонують на ряді заводів країн СНД. В Україні слябінги встановлені на металургійних комбінатах «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя) і в м. Маріуполі. На Алчевському металургійному комбінаті працює стан блюмінг-слябінг 1150 [6].

Обтискний цех забезпечується зливками з мартенівського цеху, далі в стриперне відділення, в якому зливки звільняються від виливниць і в

гарячому стані з температурою 300 – 1060<sup>0</sup> С доставляються на візках до нагрівальних колодязів цеху слябінга [7].

Крім того з ВАТ «Дніпроспецсталь» надходять зливки легованих і нержавіючих марок сталей з температурою не менше 800<sup>0</sup> С, а також холодні зливки зі складів мартенівського цеху та цеху слябінга. Передача злиwkів зі сталеплавильного цеху в будівлю нагрівальних колодязів і посадка їх у камери нагрівальних колодязів відбувається строго по плавках, а злиwkів якісної легованої сталі і по злиwkам. Зливки що привезли, знімаються з візків мостовими кранами колодязного типу і саджають в камери колодязів для підігріву. Колодязні кліщові крани, що застосовують в цеху, мають різні конструкції пристроїв для захвату вантажу кліщами.



1 - нагрівальні колодязі; 2 - шлях злиwковоза; 3 - візок для злиwkів;  
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 кантувачем; 11 - маніпулятор;  
12 - головний привід, 13 - пересувний упор; 14 - ножиці; 15 - конвеєр  
обрізків; 16 - зіштовхувач; 17 - штабелювальний пристрій; 18 - рольганг до  
безперервного широкосмугового стану (ШСГП); 19 - рольганг до печей

#### ШСГП

Рисунок 1.1 - Схема розташування обладнання слябінга I - прогін нагрівальних колодязів; II - прогін контрольно-вимірювальної апаратури; III - прогін стану; IV - машинний зал; V- скрапний прогін.

Продуктивність однієї групи колодязів 45 - 60 т/год. Тривалість нагрівання сильно залежить від марки сталі та температури посадки. Управління процесом нагріву здійснюється індивідуально для кожної камери. У камери автоматично надходить необхідна кількість тепла за наперед заданим графіком до повної готовності злиwkів до прокатки. Це досягається застосуванням автоматично діючих приладів. Злиwки, підігріті до температури 1320 - 1340<sup>0</sup> С, виймають на злиwковіз, що транспортує їх до приймального рольгангу. У розглянутому цеху злиwковіз має візок, це дозволило транспортувати до приймального рольгангу два злиwки. Злиwок, що знаходиться на візку захоплюють кліщами крана і ставлять в колиску стаціонарного перекидача. Пройшовши приймальний рольганг, злиwок надходить у валки робочої кліти стану для обтиску до необхідних розмірів. Число пропусків злитку між горизонтальними і вертикальними валками робочої кліти залежить від їхньої ваги і сортаменту слябів, що прокатують [8]. У процесі прокатки напрямом злиwків у валки здійснюється лінійками маніпулятора, встановленими над робочими рольгангами перед станом і за ним.

Зазвичай прокатка слябів вертикальними валками робочої кліти проводиться для зняття уширення і великих обтисків. Після прокатки сляби транспортуються рольгангом, що підводить до ножиць, на яких відрізається спочатку передній кінець, а потім сляб ріжеться на мірні довжини. Різання штаби проводиться при  $t = 900 - 1120$  °С. Позаду ножиць встановлено рухомий упор, який при різанні регулює розкрій штаби під ніж, упор опускається і тримає передній кінець штаби на заданій відстані від ножа. Обрізки зіштовхуються на транспортер хитного рольганга, потім на конвеєр обрізків, який подає їх у скрапний прогін в коробки. З коробів обрізки вивантажуються на платформи електромостовим краном. Порізані на мірні довжини сляби подаються або транзитом на стан ЦГПТЛ або забираються на склад.



Всі сляби легованих марок піддаються сповільненому охолодженню або відпалу в печах з висувним підведенням. Сляби вуглецевих марок на складі сортуються, після огляду проводиться видалення вад за допомогою вогневої і наждачної зачистки. Прийняті ВТК сляби передаються ТЛЦ або відвантажуються споживачам [9].

Останні десятиліття через нестачу природного газу, а відповідно і його вартість, сляби стали направляти безперервним потоком в цех тонкого листа, що дає можливість без додаткового підігріву слябів катати тонкий лист. Сляб в сусідньому цеху, виявляється, через 4 хв. Таким чином, на сьогодні близько 90% слябів йде в цех тонкого листа і 10% в підігрівальні печі.

## **1.2 Прокатка зливків**

Сталевий зливочок - неоднорідне кристалічне тіло по густині, наявності, неметалевих домішок, хімічному складу і будові. Сортамент стану наведений у таблиці 1.1.

Неоднорідності зливка можуть бути фізичні, кристалічні і хімічні. Ці види неоднорідностей погіршують якість сталі, а іноді є причиною браку в прокатному виробництві.

На рисунку 1.1 наведена схема будови і макроструктура сталевого зливка. Як видно з рисунка, в литому металі можна розрізнити три структурні зони. Кристалізація рідкого металу починається у поверхні більш холодної форми і йде спочатку переважно до поверхні тонкого шару сильно переохолодженої рідини. Внаслідок великої швидкості це охолодження призводить до утворення на поверхні зливка вузької зони порівняно дрібних рівновісних кристалітів.

За першою зоною розташована друга зона подовжених дендритних кристалітів (зона транскристалізації). Зростання цих кристалітів йде в напрямку відводу тепла, тобто нормально до стінок виливниці. Послідовний

ріст дендритів від стінки виливниці відбувається завдяки просуванню вглиб розплаву гілок першого порядку та їх розгалуження [10].

Таблиця 1.1- Марки сталі, які прокатують на стані «слябінг 1150»

Група сталей по нагріву зливків	Марка сталі	Хімічний склад по ДСТ, ТУ, внутрішньо заводським нормам
1	2	3
1	08пс(кп),10пс(кп), 15пс(кп),20пс(кп)	ДСТУ 1050-88
	08пс(кп)	ДСТ У 9045-93
	08пс(кп) г/к, 08пс(кп) х/к, 08пс(кп) для КрКЗ, 08пс(кп) для подката на жесьть 08псН, 15псН	По внутрішньо заводським нормам
	08Ю	ДСТУ 9045-93
	08Ю для облицювання	По внутрішньо заводським нормам
	25пс Ст0пс(кп), Ст1пс(кп), Ст2пс(кп), Ст3пс(кп), Ст4пс(кп),	ТУ У 14-4-458-99 ДСТ У 380-94
	Ст3Гпс, Ст5Гпс	ДСТУ 2651-94
2	10, 15, 20, 25, 30	ДСТУ 1050-88
	Ст 0, Ст2сп, Ст3сп, Ст4сп	ДСТУ 2651-94 (ДСТУ 380-94)
	15К , 20К	ДСТУ 5520-79
	Ст15сп медиста	ТУ У 14-2-1241-2000
3	12ГС	ДСТУ 19281-89
	17ГС, 17ГІС	ТУ, ДСТУ 19281-89
	Ст5пс	ДСТУ 380-94
	07ГСЮФ, 08ГСЮТ, 08ГСЮФ	ТУ У 27. 1.4.-516-2002
	08ГЮТ, 08ГЮФ, 08ЮТ	ТУ 14-226-135-93
	09Г2Т	ТУ У 27.3-00190319-1313-2004
4	60С2А, 45, 55	ДСТУ 1050-93
	65Г, 60С2, 60Г, 70Г	ДСТУ 14959-79
	70Х*	ТУ 14-143-250-77
* Тільки для ремонтних цілей.		

При дуже повільному охолодженні, наприклад у серединних шарах великих виливків, створюються умови для виникнення зародків кристалів у середній частині зливка. Це призводить до утворення у внутрішній частині

вилівки третьої структурної зони, що складається з рівно вісних, по різному орієнтованих дендритних кристалітів. Розміри цих кристалітів залежать від ступені перегріву рідкого металу, швидкості охолодження, наявності домішок та ін.

Зона стовпчастих кристалів володіє високою щільністю, так як вона має мало газових бульбашок, раковин. Проте в ділянках стику стовпчастих кристалітів метал має знижену міцність і при подальшій прокатці в цих ділянках можуть виникнути тріщини. Тому для сталі розвиток стовпчастих кристалітів небажано.

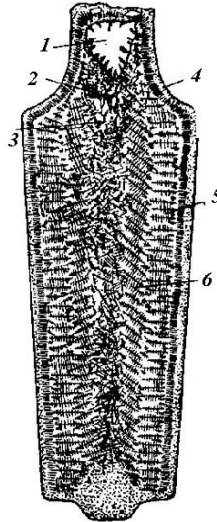
Рідкий метал має більший питомий об'єм, ніж твердий, тому в тій частині зливка, що застигає у останню чергу, утворюється порожнеча - усадочна раковина. Усадочна раковина зазвичай оточена найбільш забрудненою частиною металу, в якому після затвердіння утворюються мікро- і макропори і бульбашки.

До фізичної неоднорідності відносять усадкову раковину, газові міхури і неметалеві включення.

Після прокатки зливку відрізають кінець штаби, відповідний протяжності усадочної раковини. Отже, чим більше усадочна раковина і рихлість, тим більше металу обрізають і тим менше вихід придатного. Величина обрізу залежить від багатьох причин: хімічного складу сталі, форми і відповідності висоти зливку до сторони середнього поперечного перерізу, способу і швидкості розливання сталі, призначення слябів і т. д. При прокатці злиwkів якісної вуглецевої і легованої сталі обріз досягає 20% і більше маси зливка. Усадкову раковину у зливку зменшують застосуванням прибуткової надставки. Прибуткову частину зливку відрізають після прокатки.

Для зменшення обсягу прибутку збільшують тривалість охолодження сталі в прибутковій надставці футеровкою вогнетривким матеріалом, а останнім часом і підігрівом прибуткової частини.

Усадочна раковина є характерною особливістю зливку спокійної сталі. Крім спокійної сталі, у великій кількості виплавляють киплячу сталь, розкислення якої в печі і ковші відбувається неповністю. Характерною особливістю цієї сталі є газові бульбашки, які утворюються в зливку в результаті виділення газів з рідкої сталі при її затвердінні. Так як не всі гази встигають спливати на поверхню, то вони, залишаючись у зливку, утворюють пустоти (раковини).



- 1 - усадочна раковина; 2 - усадочні порожнечі; 3 - усадочна рихлість;  
 4 - тонкий шар дрібних кристалів; 5 - зона стовпчастих кристалів;  
 6 - зона рівновісних кристалів.

Рисунок 1.2 – Схема будови сталевих зливок [10]

При прокатці цих зливок газові бульбашки можуть заварюватися. Проте легко заварюються бульбашки, які розташовані в глибині зливка і мають не окислену поверхню. Якщо бульбашки розташовані поблизу поверхні зливка («підкіркові» або «стільникові»), то при нагріванні чи прокатці вони оголюються і можуть бути причиною браку. На готовому прокаті утворюються волосини, дуже схожі на тріщини, іноді досить глибокі. При прокатці листової сталі окислені підкіркові бульбашки приводять до браку у вигляді «поїденої» поверхні листа. Ці види браку, що залежать від якості зливка, повинні бути віднесені до браку з вини сталеплавильного цеху.

Перевагою зливоків киплячої сталі є відсутність усадочної раковини і, отже, зменшення величини обрізу. Обрізки зливоків киплячої сталі звичайної якості досягає 3 - 5%. Недоліком цих зливоків є наявність підкіркових бульбашок і різко вираженої сегрегації. Тому киплячу виробляють лише низько вуглецеву сталь, яка допускає нагрів зливоків до більш високої температури та гарантує заварку бульбашок. При вмісті вуглецю більше 0,3% газові бульбашки неприпустимі, тому таку сталь відливають спокійною.

Неметалічні включення (шлакові включення, частинки вогнетривких мас, що відірвалися від футеровки ковша та ін.) погіршують якість сталі, значно знижуючи її механічні властивості. У багатьох випадках вони служать початком утворення тріщин (особливо при роботі деталей з повторними напруженнями змінного знака) [11]. Неметалічні включення залишаються в сталі після прокатки, тому необхідно отримувати зливки відносно чистими від цих включень. Особливо великі вимоги повинні бути пред'явлені до чистоти зливоків якісної і високоякісної сталі.

До хімічної неоднорідності зливка відносять зональну об'ємну і дендритну ліквіацію. Утворення ліквіації пов'язано з вибірковою кристалізацією зливка. При затвердінні вуглецевої сталі спостерігається явище дендритної кристалізації, що обумовлює деяку хімічну неоднорідність у кристалах. Внаслідок того, що затвердіння сталі починається у стінок виливниці і поширюється в центральну частину зливка (збагачений вуглецем матковий розчин також переміщається в центральну частину), спостерігається явище об'ємної ліквіації. Ці види ліквіації відносять до дефектів сталевого зливка.

Нагрівання вихідних матеріалів зливоків і заготівель перед прокаткою повинно забезпечити високу пластичність сталі і найменший опір деформації. Тому чим вище температура нагрівання, тим краще, тому що при цьому зменшується витрата енергії при прокатці, збільшується обтиск і зменшується число випадків поломки валків та інших деталей стану. Поряд з

цим нагрів повинен забезпечити підвищення ефективності механічних властивостей, зменшення чутливості сталі до флокенів та ін.

Однак, висока температура і неправильний режим нагріву можуть викликати значне утворення окалини, знеуглецювання, розтин підкіркових бульбашок, перегрів і перепал, що погіршують якість металу або призводять його до браку. При нагріванні матеріалів в існуючих нагрівальних пристроях завжди відбувається окислення металу з утворенням окалини. Утворення окалини при нагріванні є джерелом втрат придатного металу. Чад металу при нормальній роботі нагрівальних пристроїв складає 1 - 2% маси металу, а при незадовільній роботі - до 4 - 5%. Якщо врахувати, що при прокатці зливку в готовий прокат метал нагрівають кілька разів, то можна прийняти чад у середньому 3 - 4% маси металу. Крім того, окалина при прокатці втискується в метал, що погіршує якість поверхні.

На появу окалини впливають температура, тривалість перебування металу при високих температурах, швидкість нагріву і пічна атмосфера. Утворення окалини протікає більш енергійно при температурах вище 900 - 1000 °С. Окислення металу в печі тим більше, чим більше метал знаходиться в печі при високих температурах. Чад тим менше, чим більше швидкість нагріву. Для зменшення чаду процес горіння газів повинен протікати при найменшому надлишку повітря та з найбільшою повнотою.

На окислення металу має також вплив відношення поверхні нагрівання металу до його об'єму: чим більше це відношення, тим більше окислення металу [12]. Це особливо слід враховувати при нагріванні злиwkів, які мають велику поверхню. Зливки для прокатки слябів нагрівають в нагрівальних колодязях. У відділенні нагрівальних колодязях є один загальний газовий колектор і 3 повітряних: у першій колектор нагнітають повітря вентилятори груп 1 - 6, у другий - вентилятори 7 - 11, у третій - 12 -14.

Колодязі опалюються доменно-коксовою сумішшю з додаванням природного газу до калорійності 880 - 950 ккал/м<sup>3</sup>. Вищевказана калорійність суміші забезпечується роботою вузла збагачення, встановленого у

трубопроводі доменного газу. Бригадир на ділянці основного виробництва підтримує необхідну калорійність шляхом зміни витрати коксового та природного газів на вузлі збагачення за завданням старшого нагрівальника.

Камера являє собою самостійну нагрівальну піч, що має регенератори для підігріву газу і повітря. Для прибирання продуктів згоряння кожна група має свою димову трубу, на групах 1 - 11 висота труби - 50 м, на 12, 13 і 14 групах - 80 м.

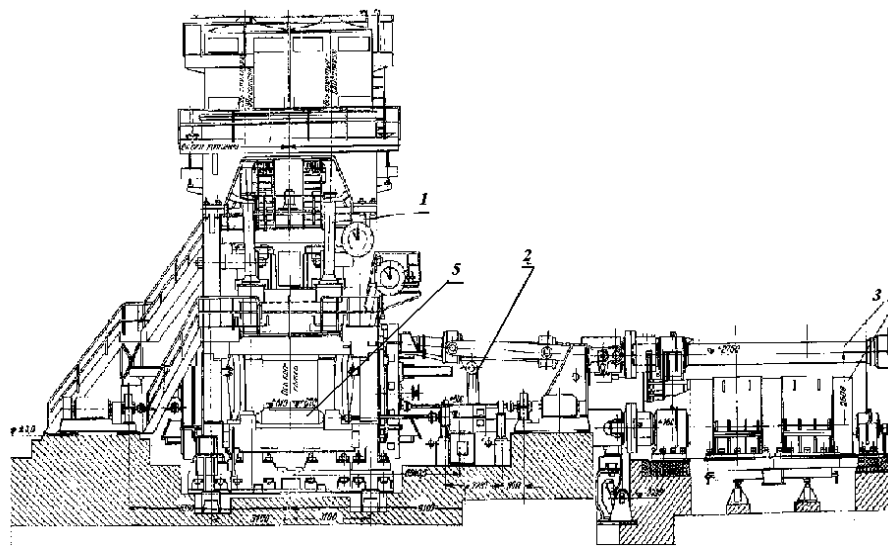
Істотним недоліком колодязів є неоднакове розташування злиwkів щодо потоку тепла, а отже неоднакове їх нагрівання. Злиwки, розташовані з боку регенераторів, нагріваються швидше, ніж злиwки в середній частині камери. Механічне обладнання колодязів дуже громіздке що ускладнює їх автоматизацію.

Характерним для сучасних прокатних цехів є гарячий всад злиwків у нагрівальні колодязі. До гарячої садки зазвичай відносять злиwки, з температурою 400 - 1000°C, а до холодного - нижче 400°C. Гаряча садка злиwків забезпечує значну економію палива і збільшує продуктивність нагрівальних колодязів. За даними практики, при підвищенні температури злиwків при посадці на 50°, продуктивність нагрівальних колодязів збільшується приблизно на 7%. З пониженням температури злиwків при посадці збільшується тривалість нагрівання і витрата палива. Так, при нагріванні холодних злиwків тривалість нагрівання майже у два рази більше, а витрата палива приблизно в три рази більше, ніж при нагріванні злиwків з температурою поверхні приблизно 800 °C.

У обтискному цеху використовується стан слябінг 1150. Горизонтальні валки мають циліндричні бочки діаметром 1150 мм і довжиною 2000 мм. Горизонтальні валки слябінга обертаються від індивідуальних двоякірних електродвигунів постійного струму, кожен потужністю 7200 кВт, через шпindel без шестеренної кліти. Розчин валків 80 - 900 мм, швидкість підйому валків 150 мм /с, обороти валків в межах 53 - 80 об/хв.

Вертикальні валки мають діаметр 700 мм і довжину бочки 1150 мм. Максимальна швидкість переміщення двох валків дорівнює 64,8 мм/с, розчин вертикальних валків 720-1800 мм. Вертикальні валки обертаються від двох вертикальних електродвигунів постійного струму, потужністю кожен 1250 кВт і числом оборотів 66 – 78 у хвилину, через довгі вертикальні (похилі) універсальні шпинделі.

Станини робочої кліти - найвідповідальніші деталі прокатного стану. У них монтують подушки валків стану, а також інші пристрої і механізми, що забезпечують задану точність прокатки і продуктивність стану [13]. Весь тиск металу на валки, що виникає при прокатці, сприймається станинами. Тому при конструюванні і виготовленні станин особлива увага приділяється їх міцності і жорсткості.



1 – універсальні шпинделі приводу вертикальних валків; 2 – універсальні шпинделі приводу горизонтальних валків; 3 – проміжний вал, 4 – головні електродвигуни; 5 – горизонтальні валки

Рисунок 1.4 - Головна лінія слябінга 1150

По конструкції станини ділять на дві групи: закритого і відкритого типу. Станина закритого типу являє собою литу масивну жорстку раму, в середині її зроблено вікно для установки в ньому подушок валків, внизу



станина має припливи (лапи). У припливах передбачені отвори для болтів, якими станини кріплять до плитовин. Станини цього типу, як більш міцні і жорсткі, застосовують в робочих клітках слябінгів. Розміри станин визначаються можливістю розміщення у вікні станини подушок валків і кінця натискного гвинта, а також необхідної міцності і жорсткості.

Для більшої надійності в роботі, як правило, станини виготовляють із сталевого вуглецевого листа. Станина - найвідповідальніша частина прокатного стану, тому її слід виконувати з великим запасом міцності. При поломці валків матеріал станин не повинен давати залишкових напружень.

### **1.3 Заходи щодо усунення недоліків технологічного 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 клітці стану;

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

5. високим ступенем зношеності й недостатньою потужністю 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.

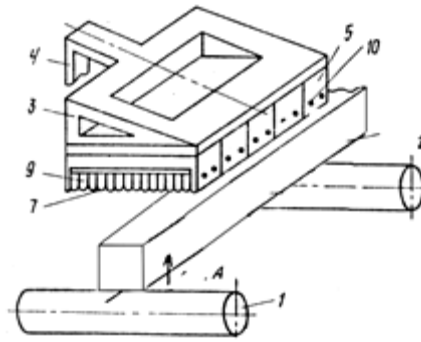


Рисунок 1.8 – Конструкція теплоізоляційного екрану

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.

#### 1.4 Розрахунок параметрів прокатки на стані слябінг 1150 комбінату ВАТ «Запоріжсталь»

##### 1.4.1 Розрахунок параметрів деформації сляба в горизонтальних валках виконуємо за методикою Ніколаєва В.О.

Вихідні данні для розрахунку: Розрахуємо параметри деформації злитку сталі  $\frac{780 \times 1500}{720 \times 1430} \times 2200$  мм на сляб  $160 \times 1300$  мм (кипляча сталь марки 08КП).

Стан слябінг має діаметр валків  $D = 1150$  мм, довжину бочки  $L_b = 2000$  мм, відстань між осями натискних гвинтів  $a = 2720$  мм, діаметр шийки  $d_{ш} = 720$  мм, довжина шийки  $l_{ш} = 720$  мм. Потужність головного приводу для кожного валка по  $N_{дв} = 7200$  кВт. Твердість бочки валків  $\sim 50$  HSD, середня температура зливка перед першою кліттю дорівнює  $t_{зл} = 1220^\circ\text{C}$ . Мінімальна температура на кінець прокатки за умовами підприємства становить  $t_k = 1100^\circ\text{C}$ . Обертова швидкість валків  $V = 4$  м/с.

Розрахунок виконуємо за методикою проф. Ніколаєва В.О. Швидкісний режим прокатки.

Для розрахунку енергосилових параметрів, необхідно в першу чергу визначити попередній швидкісний режим по ходу прокатки. За рекомендацією приймаємо наступні частоти обертання валків за етапами прокатки слябів.

Таблиця 1.2 - Приблизні величини чисел обертань при захопленні, викиді та максимальні (прокатка одного зливка)

Етапи прокатки сляба	При захопленні $n_3$ , об/хв	При викиді $n_v$ , об/хв	Максимальне число обертань $n_m$ , об/хв
I	10-15	15-20	50-60
II	20-30	25-40	50-60
III	30-40	40-45	50-60
IV	30-40	40-45	50-60

В таблиці 1.2 етап I відповідає початковим проходам, етап II - середнім проходам, етап III - передостаннім проходам, та етап IV - останньому (випускному) проходу. Максимальна частота обертання валків залежить від величин  $n_3$  та  $n_v$  і довжини розкату та визначається за відповідними формулами. Якщо швидкісна діаграма містить ділянки  $t_1$  та  $t_5$ , то максимальна частота  $n_{mp}$  визначається за формулою [ $\alpha = 30$  об/(хв·с),  $\beta = 60$  об/(хв·с)]

$$n_{mp} = 49 \sqrt{\frac{L_1 + L_5}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600} + \frac{n_v^2}{7200}},$$

де  $L_1$  та  $L_5$  - довжини розкату, відповідні прокатці за час  $t_1$  та  $t_5$ ;  $n_{mp}$  - розрахункове максимальне значення обертів;  $\alpha$  - прискорення двигуна при наявності розкату в валках.

Оскільки  $L_i = L_1 + L_5$ ,

то

$$n_{mp} = 49 \sqrt{\frac{L_i}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600} + \frac{n_v^2}{7200}},$$

де  $L_i$  - довжини подвійного розкату в проході.

Довжина  $L_i$  визначається за формулою

$$L_i = L_{\text{сл}} \cdot \mu_{\Sigma},$$

де  $L_{\text{сл}}$  - довжина зливка (одного або двох при прокатці двозливкової);  
 $\mu_{\Sigma}$  - сумарний коефіцієнт витяжки за  $n$ -е кількість проходів.

Формула придатна для швидкісного режиму, який має ділянки  $t_1$  та  $t_5$  ( прискорення та уповільнення зі зливком). Якщо отримане значення  $n_{\text{мр}}$  за формулою менше зазначеного у таблиці, то в розрахунку середньої швидкості прокатки приймаємо розрахункове значення  $n_{\text{мр}}$ . Якщо розрахункове значення  $n_{\text{мр}} > n_{\text{м}}$ , то приймаємо для подальших розрахунків значення  $n_{\text{м}}$  із таблиці. Для останнього проходу максимальне значення числа обертів валків визначаємо за формулою ( $\alpha = 30$  об/(хв·с))

$$n_{\text{мр}} = 60 \sqrt{\frac{L}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600}},$$

де  $L$  – довжина готового розкату (сляба).

Середню швидкість в даному проході орієнтовно визначають за формулою ( $v$  – тут окружна швидкість валків)

при  $n_{\text{мр}} < n_{\text{м}}$

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

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ \\ \end{array}$$

при  $n_{\text{мр}} > n_{\text{м}}$

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

#### **1.4.2. Визначення допустимого обтиску за умови захвату металу валками.**

Для рішення цієї задачі знайдемо коефіцієнт тертя в сталому процесі і при захопленні. Найгірші умови захоплення мають місце в початкових проходах, при найбільш високій температурі металу –  $t = 1200-1220^{\circ}\text{C}$ . Коефіцієнт тертя знаходимо по формулі

$$F = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_{\text{СМ}} \cdot k_E,$$

де  $f_0$  – базовий коефіцієнт тертя;  $k_i$  – коефіцієнти що враховують вплив різних факторів;  $k_B$  – стан поверхні валків;  $k_T$  – твердість поверхні валків;  $k_M$  –

матеріалу сляба(полоси);  $k_V$  – окружної швидкості валків;  $k_{CM}$  – типа технологічної змазки;  $k_E$  – відносного обтиснення.

Коефіцієнт тертя при захопленні розкату валками дорівнює

$$f_3 = f \cdot k_3,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя в сталому процесі;  $k_3$  – коефіцієнт, який враховує умови тертя при захопленні.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює

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

де  $t$  – температура металу, °С.

Коефіцієнти  $k_T$  і  $k_V$  відповідно дорівнюють

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

де  $HSD$  – твердість за шкалою Шора (при  $HSD > 65$  – коефіцієнт  $k_T = 1$ );

$$\left. \begin{aligned} k_V &= 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot V)^2 \text{ при } V \leq 10 \text{ м/с} \\ k_V &= 0,76 \text{ при } V \geq 10 \text{ м/с} \end{aligned} \right\}$$

де  $V$  – окружна швидкість валків.

Коефіцієнт  $k_B$  для сталевих валків слябінга 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,  $k_{CM} = 1,0$ . Коефіцієнт  $k_E$  дорівнює

$$k_E = 0,85 + 0,5 \cdot \varepsilon$$

Для умови захоплення приймають у межах  $k_E = 0,9 - 1,0$ .

Визначаємо допустиме обтиснення для перших проходів на слябінгу без первинної окалини на злитку (розкати) при  $t = 1220^\circ\text{C}$ , швидкість валків при захопленні  $v_3 = 0,6$  м/с, твердість валків 50 HSD, діаметри валків після переточок дорівнюють ( $k_M = 1,0$ )

$$D = 0,9 \cdot D_0 = 0,9 \cdot 1150 = 1040 \text{ мм:}$$

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

$$k_T = 1 + 0,43 \left( 1 - \frac{50}{65} \right)^2 = 1,02$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1,0 - 0,1 \cdot 0,6)^2 = 1,48$$

$$f = 0,17 \cdot 1,05 \cdot 1,02 \cdot 1,0 \cdot 1,48 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,29,$$

де 0,9 - коефіцієнт зменшення діаметру за рахунок переточок валка.

Коефіцієнт  $k_3$  залежить від умов задачі розкату в валки. Якщо розкат заходить в валки при задачі рольгангом, то коефіцієнт  $k_3$  слід приймати рівним  $k_3 = 1,35$  і тоді з формули маємо

$$f_3 = 0,29 \cdot 1,35 \approx 0,39$$

Обтиснення яке допускається з формули дорівнює

$$\Delta h_d = 520 \cdot 0,392 = 79 \text{ мм}$$

Оскільки обтиснення, що допускається, декілька перевищує практичні значення, то окружну швидкість при захопленні доцільно збільшити до  $v_3 = 1,0 \text{ м/с}$  ( $n_3 = 18,4 \text{ об/хв}$ ). В цьому випадку обтиснення, що допускається зменшується до  $\Delta h_d = 75 \text{ мм}$ .

#### **1.4.3. Визначення обтиснення, що допускається виходячи з міцності валків.**

Сила прокатки, що допускається визначається з формул при напрузі, що допускається  $\sigma_{из} = 100-120 \text{ Н/мм}^2$ . Валки зі сталі (55, 55Х та ін.) і  $a = 2,72$

по бочці

$$P_d = 0,4 \cdot 1,043 \cdot 120/2,0 \approx 27,1 \text{ МН};$$

по шийці

$$P_d = 0,4 \cdot 0,723 \cdot 120/0,72 \approx 27,3 \text{ МН}.$$

Допустима міцність шийки на вигин менше, ніж по бочці, тому що в шийці ще діє напруга від крутного моменту. Менше значення  $[P_d]$  приймаємо для розрахунку допустимого обтиснення.

Допустиме обтиснення виходячи з міцності валка визначають за формулою для проміжних проходів (ближче до останніх). Приймаємо слідуєчі умови деформації металу:  $D_0 = 1150$  мм,  $\Delta h' = 30$  мм,  $\Delta h'' = 60$  мм,  $h_{cp} = 250$  мм,  $t = 1150^\circ\text{C}$ , сталь 08КП (хім. склад %: 0,11С; 0,03Si; 0,5Mn; 0,1Cr; 0,25Ni), орієнтовна швидкість прокатки  $v = 2,5$  м/с, ширина  $B = 1350$  мм.

Напруга течії металу визначаємо за методикою

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_1 \cdot k_\varepsilon \cdot k_v$$

де  $\sigma_{T\delta}$  – базова напруга течії металу;  $k_1$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_v$  – коефіцієнти, які відповідно враховують температуру металу, відносне обтиснення, швидкість деформації.

Для мало вуглецевої сталі

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 \left[ 1 - \left\{ \frac{5 - N_1}{4,5} \right\}^{1,8} \right]$$

де  $N_1$  – сума хімічних елементів в сталі (без фосфору, сірки і заліза).

Для сталі 08КП вуглецевий еквівалент  $N_1$  дорівнює, %:

$$N_1 = C + Si + Mn + Cr + Ni$$

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

Базова напруга течії з формули дорівнює

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 \left[ 1 - \left\{ \frac{5 - 0,99}{4,5} \right\}^{1,8} \right] = 80 + 25 \cdot 0,19 = 84,8 \text{ Н/мм}^2$$

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

$$l'_d = \sqrt{30 \cdot 520} = 125 \quad l_d/h_{cp} = 125/250 = 0,5;$$

$$l''_d = \sqrt{60 \cdot 520} = 177 \quad l_d/h_{cp} = 177/250 = 0,71$$

Відносне обтиснення за формулою

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

дорівнює

$$\varepsilon' = 30 / (250 + 15) = 0,113; \quad \varepsilon'' = 60 / (250 + 30) = 0,215$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d};$$

$$u' = 2500 \cdot 0,113 / 125 = 2,26 \text{ с}^{-1}; \quad u'' = 2500 \cdot 0,215 / 177 = 3,03 \text{ с}^{-1}.$$



Швидкість деформації метала визначимо за формулою:

Коефіцієнти  $k_i$  дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} k_t &= 1,66 - 1,1 \left( \frac{t}{400} - 2 \right)^{0,7}; \\ k_\varepsilon &= 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2]; \\ k_u &= 0,22 + 0,072 \cdot (7 + 1nu). \end{aligned} \right\}$$

Маємо:

$$\begin{aligned} k_t &= 1,66 - 1,1 \left( \frac{1150}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,79; \\ k'_\varepsilon &= 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - 1,113)^2] = 1,02; \\ k''_\varepsilon &= 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - 0,215)^2] = 1,21; \\ \left. \begin{aligned} k'_u &= 0,22 + 0,072(7 + 1n2,26) = 0,77; \\ k''_u &= 0,22 + 0,072(7 + 1n3,03) = 0,8 \end{aligned} \right\} \text{ при } \nu < 10^{-1} \end{aligned}$$

Збираємо всі отримані дані в формулу відповідно для  $\Delta h' = 30$  мм та  $\Delta h'' = 60$  мм:

$$\sigma'_T = 84,8 \cdot 0,79 \cdot 1,02 \cdot 0,77 = 53,8 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma''_T = 84,8 \cdot 0,79 \cdot 1,02 \cdot 0,8 = 58 \text{ Н/мм}^2.$$

Середня нормальна контактна напруга з урахуванням впливу зовнішніх зон визначаємо ( $fn = 0,3 - 0,4$ ,  $l_d/h_{cp} < 1$ ):

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

$$p'_{cp} = 1,15 \cdot 53,8 (1 + 0,145 \cdot 0,5) [1 + (1,1 - 0,5)^2] = 90 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p''_{cp} = 1,15 \cdot 58 (1 + 0,145 \cdot 0,71) [1 + (1,1 - 0,71)^2] = 88 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки відповідно дорівнює

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B \cdot 10^{-6} \text{ МН};$$

$$P' = 90 \cdot 125 \cdot 1350 \cdot 10^{-6} = 15,2 \text{ МН};$$

$$P'' = 88 \cdot 177 \cdot 1350 \cdot 10^{-6} = 21 \text{ МН}.$$

З формули визначимо допустиме обтиснення із сили прокатки

$$\Delta h_d = 30 + (60 - 30)(24,6 + 15,2) / (21 - 15,2) = 77 \text{ мм}$$

Таким чином, допустиме обтиснення при заданих умовах деформації не повинно перевищувати  $\Delta h_d = 77$  мм. Збільшення або зменшення ширини сляба відповідно змінює допустиме обтиснення. Наближено цей зв'язок можна відобразити виразом

$$\Delta h'_d = \Delta h_d \frac{1350}{B}$$

де  $B$  - ширина сляба, який прокатують.

#### 1.4.4. Визначення допустимого обтиснення виходячи з крутного моменту.

В першу чергу слід визначити крутний момент прокатки для  $\Delta h'' = 60$  мм, за формулою

$$M = \psi \cdot l_d \cdot D,$$

де  $\psi$  - коефіцієнт положення рівнодійних сил в осередку деформації при прокатці високих смуг на слябінгу, дорівнює

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

Для  $l_d/h_{cp} = 0,5$  отримаємо (для одного валка)

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,5 + 0,444 \cdot 0,25 = 0,457;$$

$$M' = 0,457 \cdot 0,125 \cdot 15,2 = 0,87 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Для  $l_d/h_{cp} = 0,71$  маємо  $\psi = 0,39$  та  $M'' = 1,47 \text{ МН} \cdot \text{м}$  ( для одного валка).

Номінальний момент на валу одного двигуна при номінальному числі оборотів  $n_{ном} = 53$  об/хв визначимо з формул (МН·м)

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

$$v_{ном} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ном}}{60},$$

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

Вирішуючи спільно ці вирази, отримаємо

$$M_{ном} = \frac{N_{ном} \cdot \eta}{100 \cdot n_{ном}},$$

або для одного двигуна маємо

$$M_{ном} = \frac{7200 \cdot 0,95}{100 \cdot 53} \approx 1,3 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допустиме обтиснення з виразу дорівнює

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

$$\Delta h_d = 30 + (60 - 30) \cdot (1,3 - 0,87) / (1,47 - 0,87) = 51,2 \text{ мм.}$$

Таким чином, допустиме обтиснення на слябінгу лімітується у перших проходах умовами захоплення ( $\Delta h_d = 75$  мм), а в останніх етапах прокатки крутним моментом ( $\Delta h_d = 51$  мм).

Отже, допустиме обтиснення не повинно перевищувати  $\Delta h_d = 51$  мм, якщо  $M = M_{ном}$ . У тому разі якщо  $M < M_{ном}$ , можна прийняти обтиснення вище  $\Delta h > 51$  мм. В практичних умовах для прокатки конкретних слябів використовують однаковий режим деформації при встановленні валків різного діаметру. В таблиці 1.3 представлені допустимі обтиснення, розраховані з різних умов.

Таблиця 1.3 - Допустимі обтиснення для даного слябінгу

Діаметр валків, мм	Допустиме обтиснення з умови (мм):		
	захоплення валками розкату	міцності валків по силі прокатки	крутного моменту
1040	75	77	51

В умовах розглянутого прикладу слід проектувати режим деформації для валків діаметром  $D = 1040$  мм (після переточок) і поширити його для валків іншого діаметру. З метою забезпечення міцності деталей головної лінії стану приймаємо середнє обтиснення яке не перевищує 51-75 мм. При цьому середнє обтиснення вважаємо рівним

$$\Delta h_{cp} = \frac{51 + 75}{2} \cdot 0,9 \approx 56 \text{ мм}$$

### 1.4.5. Визначаємо сумарне обтиснення за всі проходи і кількість проходів.

Залежно від способу задачі зливка у валки (донною або головною частиною) обтиснення в першому проході різне. При задачі зливка в валкі тонкою головною частиною величина обтиснення значно більше, ніж у наступних проходах:

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

де  $H_0$  та  $H'_0$  - висота товстого і тонкого кінців;  $\Delta h_d$  - допустиме обтиснення з граничної умови при  $\Delta h_d = 75$  мм.

Для розглянутого випадку маємо

$$\Delta h_1 = (780 - 720) + 75 = 135 \text{ мм}$$

При задаче розкату товстою донною частиною допустиме обтиснення у першому проході дорівнює  $\Delta h_1 = \Delta h_d \approx 75$  мм. У разі використання транзитної (прямої) прокатки на широкосмуговому стані зливок задають в валки товстою донною частиною і тому  $\Delta h_1 = 75$  мм. Крім того, у передостанньому (парному) проході виконують невелике обтиснення з метою зменшення різнотовщинності в межах  $\Delta h_{\text{ч}} = 10 - 20$  мм. В останньому (непарному) проході верхній валок підіймають на 5-10 мм з метою зменшення висоти крайових висотних напливів. Таким чином, на інші проходи приходиться сумарне обтиснення, яке визначається виразом (сляб  $h = 160$  мм):

$$\Sigma \Delta h = H_0 - h - \Delta h_1 - \Delta h_{\text{ч}};$$

$$\Sigma \Delta h = 780 - 160 - 75 - 20 = 525 \text{ мм.}$$

Сумарну кількість проходів знаходимо за формулою

$$n = 3 + \Sigma \Delta h / \Delta h_{\text{ср}};$$

$$n = 3 + 525 / 56 = 12,4,$$

де 3 - число проходів (перший, передостанній і останній);  $\Delta h_{\text{ср}}$  - середнє обтиснення.

Змінюємо дрібне число до цілого в бік збільшення, тобто до  $n = 13$ .  
Разом зі збільшенням числа проходів зменшується середнє обтиснення до

$$\Delta h = \Delta h_{cp} \frac{12,4}{13} = 56 \cdot 0,96 \approx 54 \text{ мм}$$

Згідно того, що у останніх проходах обтиснення не може перевищувати  $\Delta h_d = 51$  мм, приймаємо в першій частині проходів  $\Delta h = 60$  мм, а в другій  $\Delta h = 50$  мм.

В таблиці 1.4 представлені також данні о довжині одного розкату в кожному проході. Розрахунок коефіцієнта витяжки виконаний з урахуванням обтиснення вертикальними валками, але без урахування теплового розширення металу.

Величини обертань валків при захопленні та викиді ( $n_3$  і  $n_B$ ) прийняти з таблиці 1.2.

Величина обтиснення  $\Sigma \Delta h_v$  вертикальними валками обумовлена різницею розмірів ширини зливків ( $\Delta B$ ) і сляба, та величиною уширення у горизонтальних валках ( $\Delta b$ ). Величина  $\Delta B$  розподіляється на декілька проходів. так, в першому проході частне обтиснення  $\Delta h_v$ , в залежності від величини  $\Delta B$ , складає  $\Delta h_v = 10-60$  мм. В другому проході розчин між вертикальними валками  $b_p$  залишають без змін. В цьому проході вертикальні валки обтискують подвійне уширення у горизонтальних валках ( $\Sigma b_{1,2}$ ). Як слід з таблиці 1.4, наступні установки вертикальних валків виконували в кожному непарному проході. Сумарне зменшення ширини зливка до ширини сляба складає

$$\Delta B = B_{сл} - b = 1500 - 1350 = 150 \text{ мм.}$$

Величина уширення металу у горизонтальних валках залежить від форми поперечного перерізу розкату. При прокатці розкату в непарних проходах, після його виходу з вертикальних валків поперечний переріз розкату має крайові висотні напливи, які сприяють утворенню істотного вимушеного уширення металу. В парних проходах прокочується розкат, який має переріз, близький за формою до плоского і складова вимушеного

уширення відсутня. З цієї причини уширення в горизонтальних валках в непарних проходах завжди менше, ніж в парних проходах.

Таблиця 1.4 - Розподіл обтиснень по проходах при прокатці слябу 160X1300 мм (однозливкова прокатка) ( $n_3=10-30$  1/хв.,  $n_b=15-50$  1/хв.) (горизонтальні валки)

№ проходу	Горизонтальні валки		Встановлення вертикальних валків	$\Delta h$ мм	$\mu$	L, м	V, м/с	$l_a$ , м	t, С
	h мм	$\Delta h$ мм							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1	705	75	1450	50	1,15	2,53	1,7	216	1240
2	640	65	1450	23	1,093	2,76	1,73	186	1239
3	580	60	1415	20	1,122	3,10	1,95	186	1238
4	520	60	1415	38	1,116	3,46	2,0	186	1236
5	460	60	1380	20	1,37	3,96	2,26	186	1229
6	400	50	1380	45	1,15	4,54	2,26	170	1221
7	350	50	1350	25	1,16	5,26	2,26	170	1212
8	300	50	1350	55	1,167	6,13	2,26	170	1204
9	250	50	1320	35	1,223	7,52	2,26	170	1178
10	210	40	1320	61	1,193	8,96	2,26	153	1158
11	172	35	1300	25	1,218	10,9	2,26	141	1137
12	160	15	1300	52	1,093	11,9	2,26	97	1129
13	160	-	1300	0	1,01	11,92	2,39	-	1115

Результати обробки фактичних режимів деформації розкатів на слябінгу ОАО «Запоріжсталь» показана на рисунку 1.9. Залежність  $\Delta b=f(\epsilon)$  описується наступним виразом:

непарні проміжні проходи

$$\Delta b=16+100(\epsilon-0,05)0,48$$

Парні проходи (крім передостаннього)

$$\Delta b = 5 + 24(\varepsilon - 0,05)0,5$$

де  $\varepsilon$  – відносне обтиснення ( $\varepsilon = \Delta h/H$ );  $H$  і  $\Delta h$  – вихідна товщина і абсолютне обтиснення в даному проході горизонтальними валками.

В першому проході для усіх випадків приймається  $\Delta b = 15$  мм, у передостанньому непарному проході можна приймати  $\Delta b = \Delta h$  (де – обтиснення у даному проході), а величину  $\Delta h$  приймають такою, що дорівнює  $\Delta h_{\text{пч}} = (0,8-1,0) \Delta h$  ( $\Delta h_{\text{пч}}$  – обтиснення в непарному передостанньому проході;  $\Delta h$  – максимальне обтиснення в проміжних проходах).

Розрахунок уширення при прокатці слябів із високовуглецевих сталей (60С2, 70Х, 65Г) для всіх проходів виконують за формулою:

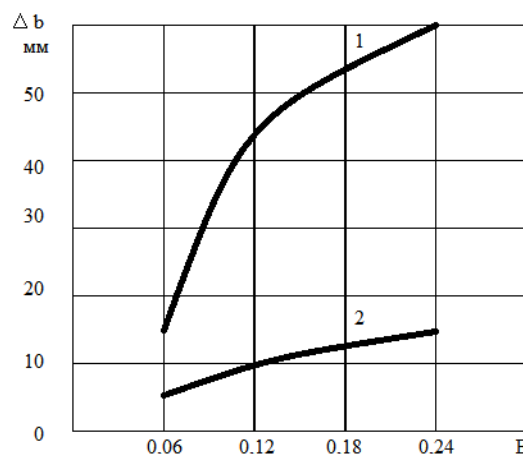
$$\Delta b = (1,3 \div 1,5)[5 + 24(\varepsilon - 0,05)0,5].$$

Менше значення коефіцієнту в формулі для  $\varepsilon > 0,12$ . Якщо  $\varepsilon \leq 0,05$ , то вираз у круглих скобках приймають рановим 0.

При прокатці з рідкою серцевиною, температура закінчення прокатки на 50-60 °С вище. Тоді, приблизно будемо мати

$$t_i \approx t_1 - \Delta t \Sigma + (50-60) / n \Sigma,$$

де  $n \Sigma$  – сумарна кількість проходів.



1 - непарні проходи;

2 - парні проходи

Рисунок 1.9 - Зміна уширення металу при деформації у горизонтальних валках слябінгу 1150:

## 1.5 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки у горизонтальних та вертикальних валках

Після розрахунку режиму деформації слябу необхідно виконати розрахунок енергосилових параметрів прокатки і зрівняти їх з допущеними значеннями сили прокатки і крутного моменту. В першу чергу визначимо середні швидкості прокатки, які необхідні для розрахунку швидкості деформації металу і напруги течії. З метою оцінки максимальних значень енергосилових параметрів розрахунок виконуємо для максимального діаметру валків ( $D = 1150\text{мм}$ ).

### 1.5.1. Визначимо розрахункове максимальне значення обертань валків у кожному проході і середню швидкість прокатки.

Для проходу I отримаємо (горизонтальні валкі)

$$n_{.mp1} = 49 \sqrt{\frac{2,53}{3,14 \cdot 1,15} + \frac{100}{3600} + \frac{225}{7200}} = 42 \text{с}^{-1}$$

Середня швидкість валків дорівнює ( $n_{mp} < n_m$ )

$$v_1 = \frac{1,15}{38,3} (42 + 12,5) = 1,7 \text{м/с}$$

Розрахункові значення середньої окружної швидкості валків представлені у таблиці 1.4. Втрати температури у і-ом проході приблизно можна визначити за виразом

$$\left. \begin{aligned} \Delta t_{\Sigma} &= 240(1 - h_i / h_1)^3; \\ t_i &= t_1 - \Delta t_{\Sigma} \end{aligned} \right\}$$

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

Приймаємо вихідну температуру рівною  $t_1 = 1240^\circ\text{C}$  за виразом для першого проходу отримаємо

$$\Delta t_1 = 240 \cdot (1 - 640/705)^3 \approx 1^\circ\text{C}.$$

Температура металу після проходу дорівнює



$$t_1 = 1240 - 1 = 1239 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Після шостого проходу

$$\Delta t_6 = 240 \cdot (1 - 350/705)^3 \approx 28^\circ\text{C}.$$

$$t_6 = 1240 - 28 = 1212 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для інших проходів значення температури металу приведені в таблиці 1.4. У останньому проході падіння температури прийнято рівним  $\Delta t = 14^\circ\text{C}$ .

**1.5.2 Напруга течії металу визначимо за наведеними вище виразами (горизонтальні валки).** Базова напруга течії для киплячої сталі 08КП дорівнює  $\sigma_{T8} = 84,8 \text{ Н/мм}^2$ . Відносне обтиснення  $\varepsilon_1 = 0,103$ , довжина дуги контакту  $l_d = 216 \text{ мм}$ ,  $l_d/h_{cp} = 0,29$ ; окружна швидкість валків  $v = 1,7 \text{ м/с}$ , температура металу  $t = 1240^\circ\text{C}$ .

Визначимо за формулами коефіцієнти  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$  і  $k_u$ :

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left( \frac{1240}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,48;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[ 1 - 6,3(0,5 - 0,103)^2 \right] = 0,98;$$

$$u = 1700 \cdot 0,103 / 216 = 0,83 \text{ с}^{-1};$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 - 0,186) = 0,58.$$

Визначаємо значення напруги течії

$$\sigma_T = 84,8 \cdot 0,48 \cdot 0,98 \cdot 0,58 = 23,3 \text{ Н/мм}^2.$$

Середнє нормальне контактне напруження за формулою дорівнює

$$P_{cp} = 1,15 \cdot 23,3(1 + 0,145 \cdot 0,29) [1 + (1,1 - 0,29)^2] = 46,2 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки з формули дорівнює

$$P = 46,2 \cdot 216 \cdot 1300 \cdot 10^{-6} = 13,5 \text{ МН}.$$

Визначимо коефіцієнт положення рівнодіючих сил  $\psi$  і крутний момент прокатки (на одному валку):

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,29 + 0,444 \cdot 0,29^2 = 0,57;$$

$$M = 0,57 \cdot 0,216 \cdot 13,5 = 1,66 \text{ МН}\cdot\text{м}.$$

Розрахунковий крутний момент без урахування додаткових складових моменту декілька перевищує номінальний за виразом ( $M_{\text{ном}} = 1,3$  МН·м), але враховуючи, що дія цього моменту короткочасна, тільки при знятті конусності зливка, залишаємо отримане значення моменту на шийці валку. Потужність двигуна для двох валків визначаємо за виразом:

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

$$N_{\text{дв}} = 2 \cdot 960 \cdot 1,66 \cdot 1,7 / 0,575 \cdot 0,95 = 9940 \text{ кВт}$$

що менші допустимої потужності встановленого двигуна.

Аналогічно розраховуємо енергосилові параметри в інших проходах (окрім останнього). Результати розрахунків зведені в таблиці 1.5.

Як слід з розрахунку, в першому і п'ятому проходах крутний момент перевищує допустиме значення, яке дорівнює 2,6 МН·м. Близький до допущеного значення  $M_{\text{ном}}$  виникає крутний момент у четвертому проході. Доцільно зменшити у проходах 4 і 5 величини обтиснень на 5 мм з перенесенням їх у 10-й та 11-й проходи. При розрахунку прийнята середня швидкість прокатки, яка декілька менше що допускається у проході. Це незначно впливає на швидкість деформації і силу прокатки, але виявляє помітний вплив на потужність прокатки. Однак при короткочасному збільшенні швидкості допустиме перевантаження двигуна у 2-2,5 рази вище встановленої потужності.

Вертикальні валки, які встановлені перед горизонтальними валками, мають діаметр  $D_v = 700$  мм і довжину бочки  $L_v = 1150$  мм. Валки вертикальної кліті приводяться від двох електродвигунів потужністю по 2300 кВт при частоті обертання 0-75-120 об/хв. Навантаження на вертикальні валки різноманітна по непарним та парним проходах. У непарних проходах обтиснення  $\Delta h_v$  вертикальними валками невелике і приймається для зменшення ширини розкату. В парних проходах вертикальні валки обтискують двійне уширення від обтиснення в горизонтальних валках (в непарному та парному проходах). При обтисненні у вертикальних валках на горизонтальних поверхнях розкату утворюються напливи на краях слябу.

При подальшому обтисненні у горизонтальних валках величина уширення обумовлена не тільки основними параметрами деформації, але і наявністю напливів.

Таблиця 1.5 - Енергосилові параметри прокатки сляба 160x1300мм (горизонтальні валки)

№ проходу	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\rho_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	P, МН	$\psi$	2M, МН·м	2N <sub>дв</sub> , кВт
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1	23,3	46,2	13,5	0,57	3,32	9940
2	22,6	46,2	11,3	0,58	2,64	8118
3	23,5	48	11,6	0,56	2,5	8300
4	25,9	53,8	12,4	0,55	2,54	8880
5	34,5	57,5	13,9	0,51	2,52	9370
6	34,6	60,8	14,4	0,51	2,48	9860

Продовження таблиці 1.5

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
7	37,2	63,2	14,9	0,48	2,44	9720
8	37,8	65,5	14,5	0,45	2,20	8840
9	44,8	68	14,6	0,42	2,10	8240
10	48,7	73	15	0,40	1,82	7780
11	53,0	77	14,6	0,34	1,40	5580
12	44,0	68,8	8,9	0,42	0,724	2860

Вплив напливів ускладнює теоретичне визначення уширення металу в горизонтальних валках и тому в даних умовах використовують експериментальні величини (рисунок 1.9).

Визначимо енергосилові параметри прокатки в вертикальній кліті для четвертого проходу. Номінальний момент прокатки з формули при  $n_{ном} = 75 \text{ об/хв.}$  (для одного валка):

$$M_{ном} = \frac{2300 \cdot 0,95}{100 \cdot 75} = 0,29 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Геометричні і кінематичні параметри деформації. За формулами розраховуємо уширення металу в горизонтальних валках в 3м і 4м проходах

$$\Delta b_3 = 16 + 100(0,103 - 0,05)^{0,48} = 38 \text{ мм};$$

$$\Delta b_4 = 5 + 24(0,094 - 0,05)^{0,5} = 9 \text{ мм}.$$

Сумарне обтиснення у вертикальних валках дорівнює  $\Delta h = 47$  мм

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h_B} = \sqrt{350 \cdot 47} = 77,136 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = 47 / 1430 = 0,012;$$

$$l_d / B_{cp} = 77,136 / 1430 = 0,09$$

Швидкість вертикальних валків із умови закону сталості секундних об'ємів орієнтовно дорівнює

$$v_4 \cdot h_4 \cdot B_4 = v_B \cdot h_4 \cdot b_4$$

де  $B_4$  і  $b_4$  – ширина полоси до і після обтиснення у вертикальних валках,  $v_4$  і  $v_B$  – окружна швидкість горизонтальних і вертикальних валків.

Звідки

$$v_B = v_4 B_4 / b_4$$

Оскільки  $B_4 \approx b_4$ , то і швидкість приблизно рівні. Для розрахунку енергосилових параметрів можна прийняти  $v_B \approx v_4$ . Тоді швидкість деформації дорівнює

$$\dot{\varepsilon} = v_B \cdot \varepsilon_B / l_d = 2204 \cdot 0,033 / 107 = 0,6 \text{ с}^{-1}.$$

Базова напруга течії для сталі марки ст..08КП дорівнює  $\sigma_{T8} = 84,8 \text{ Н/мм}^2$ . Коефіцієнти  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$  і  $k_n$  з виразу дорівнюють:

$$k_\varepsilon = 0,22 + 0,072(7 - 0,633) = 0,7.$$

Напруга течії дорівнює

$$\sigma_T = 84,8 \cdot 0,5 \cdot 0,82 \cdot 0,7 = 24,01 \text{ Н/мм}^2$$

Середня нормальна напруга

$$P_{cp} = 1,15 \cdot 24,1(1 + 0,145 \cdot 0,075)[1 + (1,1 - 0,075)2] = 58,18 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки

$$P = 56,6 \cdot 107 \cdot 550 \cdot 10^{-6} = 2,625 \text{ МН}.$$

Крутний момент, без урахування додаткових втрат у елементах головної лінії з виразів, дорівнює (для одного валку):

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,075 + 0,444 \cdot 0,0752 = 0,742;$$

$$M = 0,742 \cdot 0,107 \cdot 3,33 = 0,15 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Це менш номінального моменту. Потужність прокатки за виразом дорівнює (для двох валків)

$$N_{\text{дв}} = 2 \cdot 960 \cdot 0,15 \cdot 2 / 0,35 \cdot 0,95 = 1838,4 \text{ кВт, що менше встановленого.}$$

Аналогічно виконують розрахунки і в інших проходах.

Таблиця 1.6 - Розрахункові геометричні та енергосилові параметри прокатки сталі 08КП в залежності від проходу (вертикальні валки)

№ проходу	Швидкість прокатки $v$ , м/с	Довжина дуги контакту $l_d$ , мм	Відносне обтиснення $\epsilon$	Межа плину $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Середнє контактне нормальне напружен $P_{\text{ср}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Сила прокатки $P$ , МН
1	1,682	83,666	0,014	22,76	54,97	3,857
2	1,763	81,548	0,013	23,01	55,65	3,199
3	2,137	77,136	0,012	23,61	57,21	2,847
4	2,204	77,136	0,012	24,01	58,18	2,625
5	2,211	85,732	0,015	24,9	59,98	2,725
6	2,211	85,732	0,015	25,27	60,84	2,477
7	2,218	93,541	0,018	26,13	62,58	2,458
8	2,223	89,995	0,021	26,88	64,12	2,317
9	2,227	102,47	0,022	27,61	65,66	2,153
10	2,608	98,995	0,021	28,37	67,57	1,839
11	2,617	10583	0,025	29,55	69,99	1,815
12	2,607	97,211	0,021	29,66	70,57	1,475
13	2,552	0	0	-	-	-

Таблиця 1.7 - Розрахункові геометричні та енергосилові параметри прокатки сталі 08КП в залежності від проходу (вертикальні валки)

№ проходу	Коефіцієнт положення рівнодіючої сил $\psi$	Крутний момент М, МН · м	Потужність прокату (два двигуна) N <sub>дв</sub> , кВт
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0,738	0,222	2052
2	0,739	0,193	1891,5
3	0,742	0,163	1933,8

Продовження таблиці 1.7

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
4	0,742	0,15	980,6
5	0,736	0,172	1010,8
6	0,736	0,156	1029,75
7	0,73	0,168	1040,8
8	0,726	0,167	1037,45
9	0,724	0,159	997,45
10	0,725	0,132	964,75
11	0,72	0,138	954,7
12	0,72	0,104	758,6
13	-	-	-

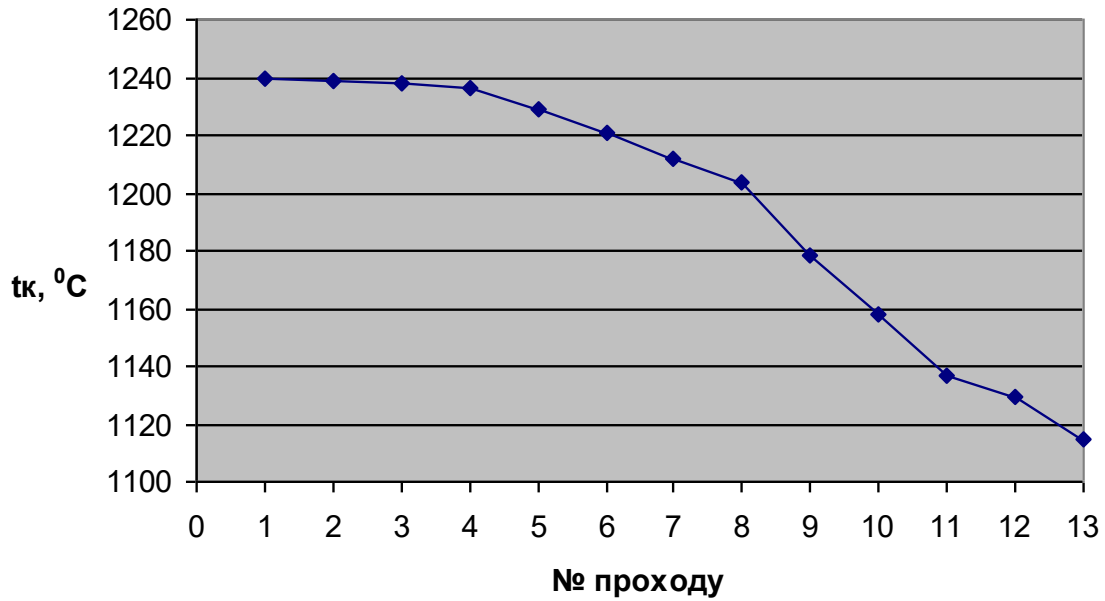


Рисунок 1.10 – Графік розподілу кінцевої температури штаби по проходах горизонтальні валки

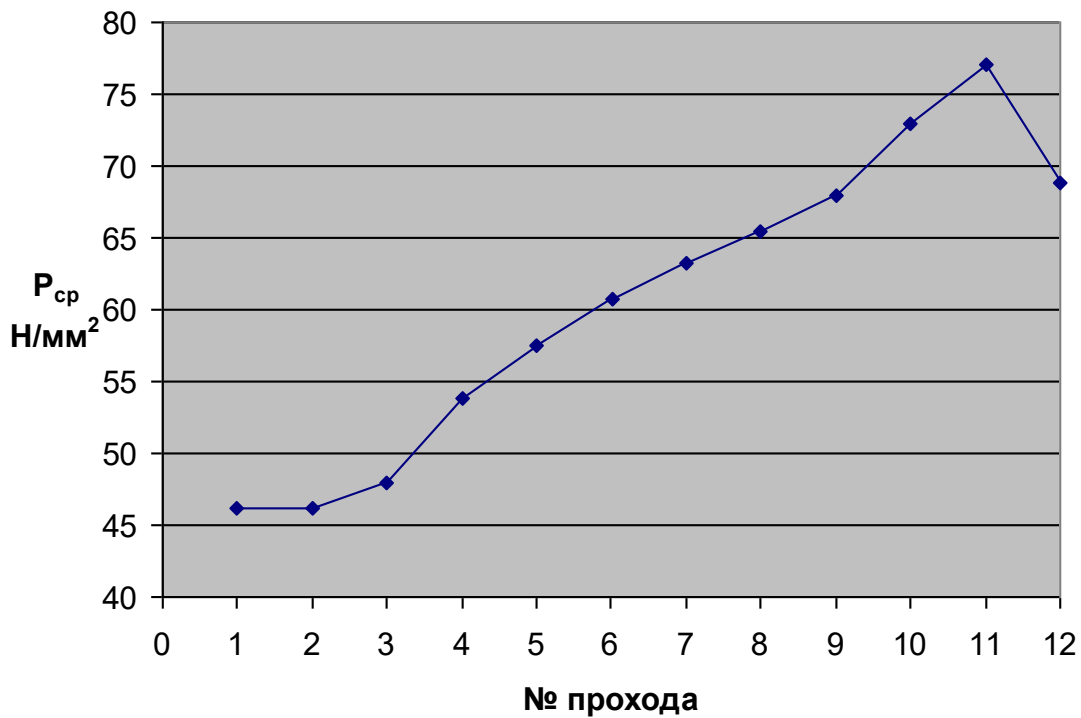


Рисунок 1.11 – Графік розподілу середнього контактного тиску по проходах горизонтальні валки

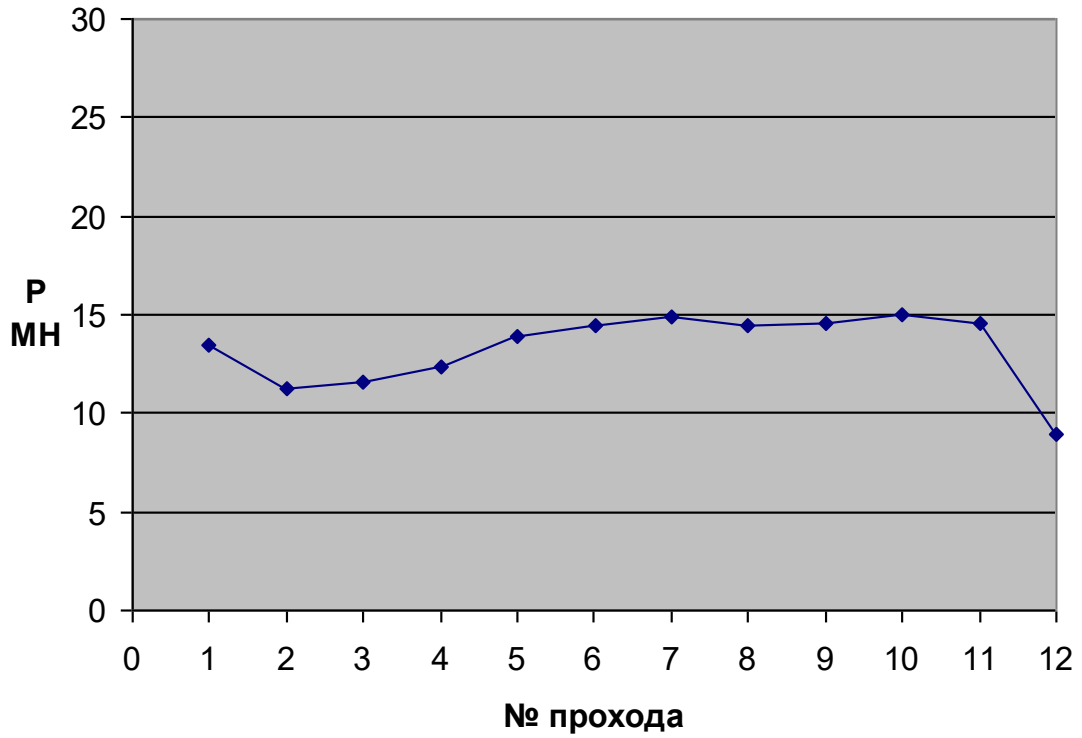


Рисунок 1.12 – Графік розподілу зусилля прокатування по проходах горизонтальні валки

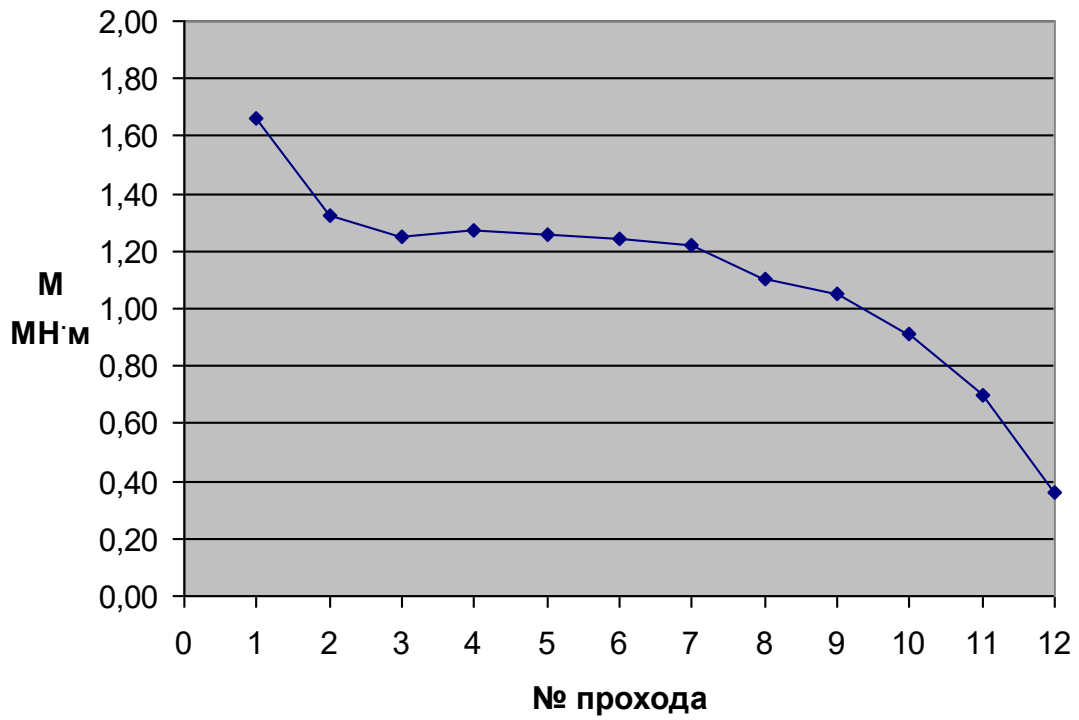




Рисунок 1.13 – Графік розподілу моменту прокатки по проходах  
горизонтальні валки

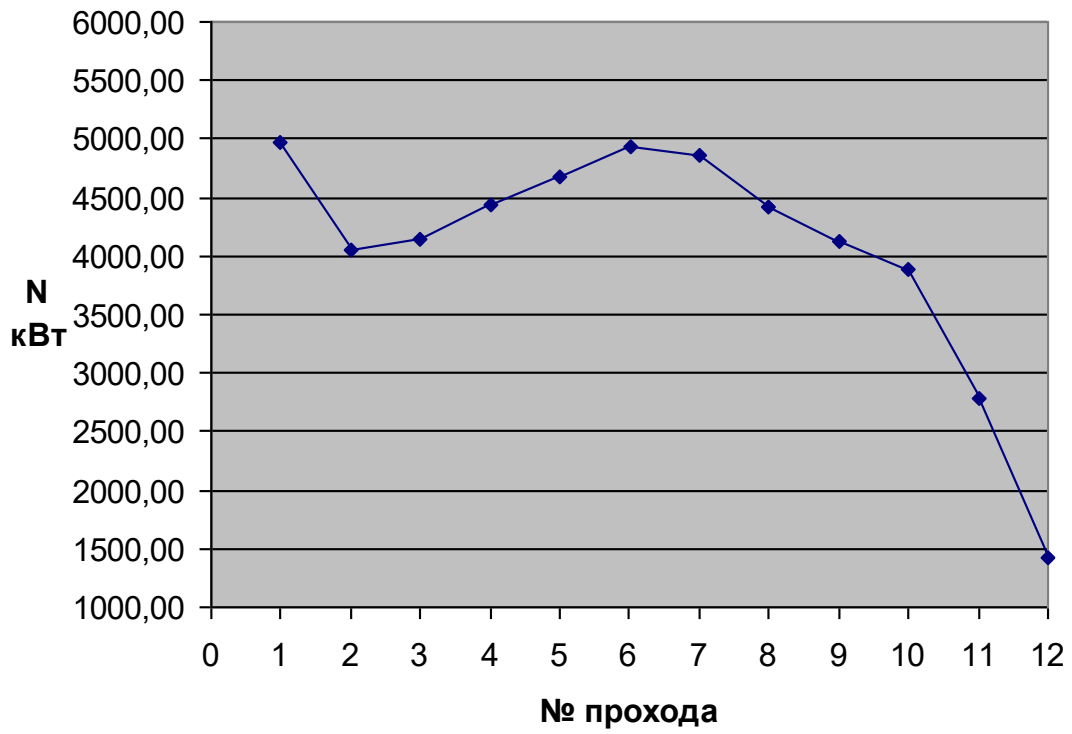


Рисунок 1.14 – Графік розподілу потужності двигуна по проходах  
горизонтальні валки

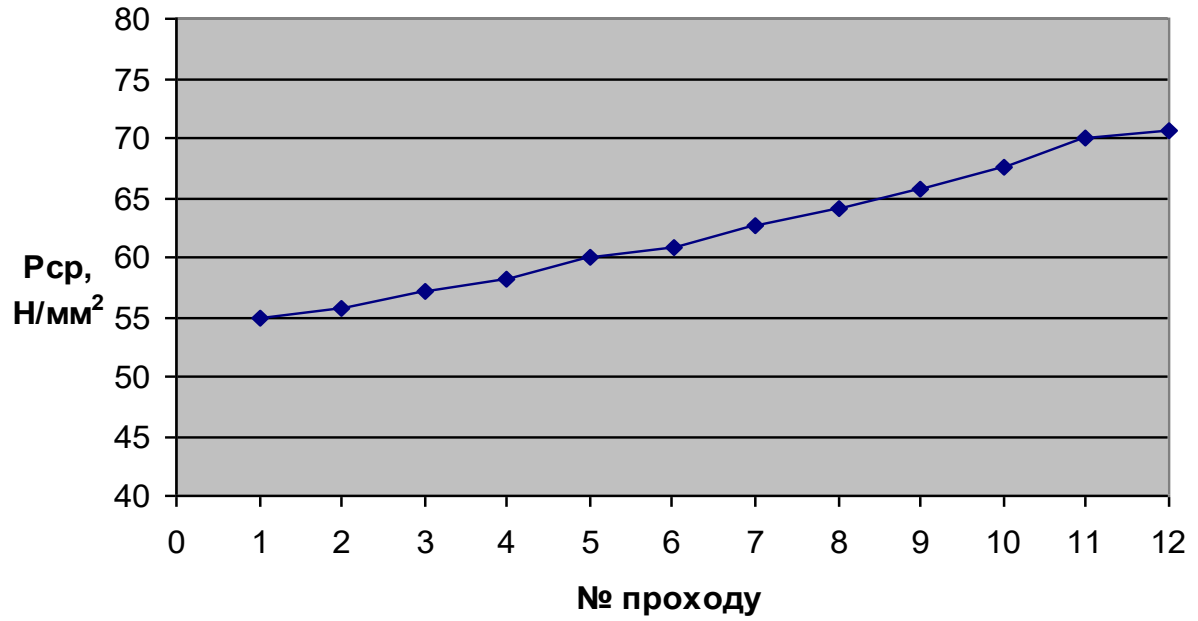


Рисунок 1.15 – Графік розподілу середнього контактного тиску по проходах вертикальні валки

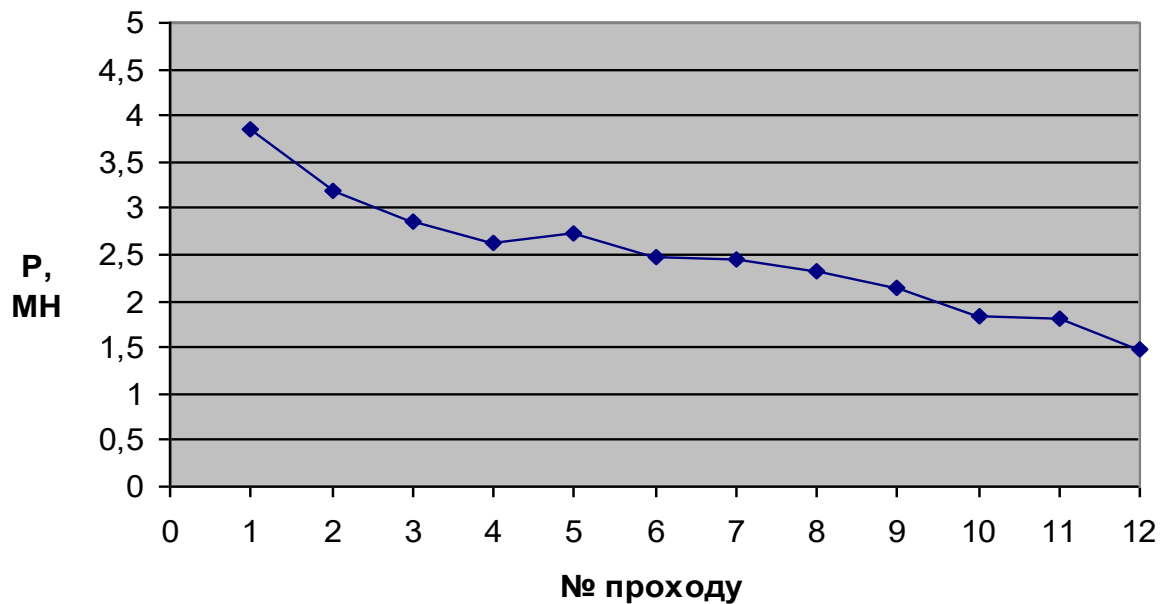


Рисунок 1.16 – Графік розподілу зусилля прокатування по проходах вертикальні валки

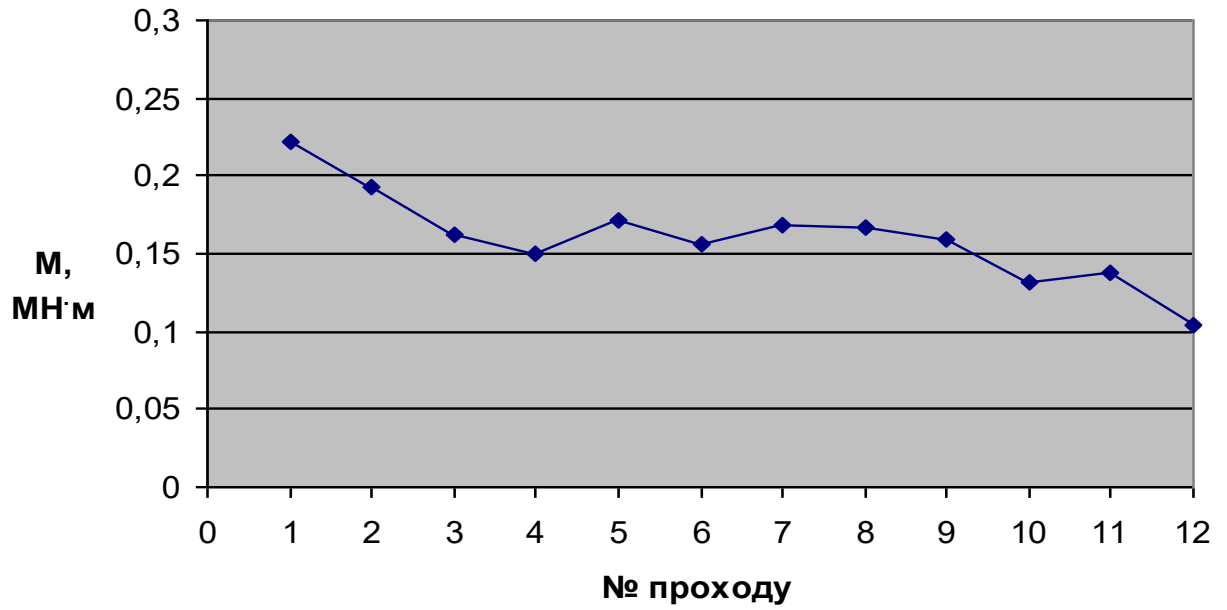


Рисунок 1.17 – Графік розподілу моменту прокатки по проходах вертикальні валки

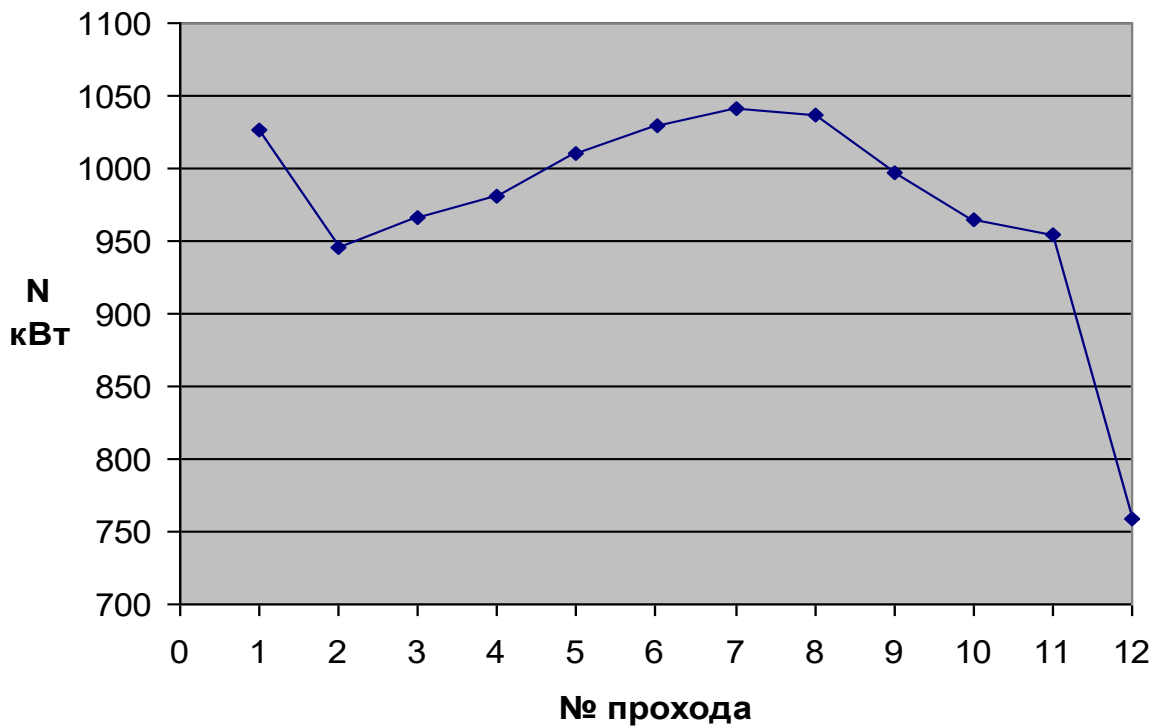


Рисунок 1.18 – Графік розподілу потужності двигуна по проходах вертикальні валки

## 1.6 Розрахунок річного виробництва прокатного стану

Річне виробництво прокату на слябінгу визначають за відомою формулою:

$$A_r = A \cdot T_\phi, \quad (1.1)$$

де  $A$  – годинне виробництво, т / год;

$T_\phi$  - фактичний час роботи в годинах.

Годинна технічно можлива продуктивність стану дорівнює (в зливках)

$$A = 3600 \cdot G/T,$$

де  $G$  - маса прокатуваного зливку,  $T$

Так як протягом року прокатують зливки різного перетину і маси, то розраховують годину виробничість для всього сортаменту і визначають середньозважену (т/год) [1]:

$$A_{CP} = \frac{100}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \dots + \frac{a_n}{A_n}}, \quad (1.2)$$

де  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – витома вага ріноманітних профілей (зливків), заготовок, що прокатують за рік, %.

Фактичний річний час роботи стану дорівнює:

$$T_\phi = (24 - 1,5)n_i (K_r - K_{np} - K_{kp}), \quad (1.3)$$

де  $n_i$  – коефіцієнт використання устаткування стану ( $n_i = 0,92 - 0,94$ );

$K_r$  – кількість календарних днів у році;

$K_{пр}$  і  $K_{кр}$  – кількість днів, відведених на планово-попереджувальні ремонти та відповідно на капітальний ремонт (враховуються простої).

24 і 1,5 - число годин у добі і на змінний профілактичний ремонт стану.

Коефіцієнт використання стану  $n_i$  відображає час роботи стану без обліку простоїв величиною менше  $\sim 5$  хв.

Так як  $k_T = 365$  і якщо  $k_{пр} = 12$ ,  $k_{кр} = 7$ , то

$$T_{\phi} = 22,5 \cdot 0,91(365 - 12 - 7) = 7100 \text{ год.}$$

При відсутності капітального ремонту фактичний час збільшується до  $T_{\phi} = 7230$  в рік.

Розрахунок виконуємо за умови, що на стані прокатується за статистичними і хронометричними даними (при прокатці по одному злитку):

зливків I типу - 48%,

зливків II типу - 42%,

зливків IV типу - 7%,

зливків XV типу - 3%.

Темп прокатки визначаємо за формулами:

$$\Sigma t_m = \frac{\Sigma Li}{V_{cp}}, \quad \Sigma t_n = (n - 1) * t_{п.ср} + t_{п.сл.}, \quad (1.4)$$

де  $\Sigma t_m$  – машиний час прокатки,

$\Sigma t_n$  - сумарне значення пауз,

$\Sigma Li$  – сума довжин раскатів після всіх проходів,

$V_{cp}$  – середня швидкість прокатки,

$n$  – кількість проходів,

$t_{п.ср}$  – середня тривалість пауз між проходами,

$t_{п.сл.}$  - тривалість паузи між зливками.

Для зливків I типу:

$$\Sigma t_m = \frac{\sum Li}{V_{cp}} = 119,90 \text{ м} / 2,39 \text{ м/с} = 50,2 \text{ с}$$

$$\Sigma t_p = (n-1) \cdot t_{п.ср} + t_{п.сл} = (13-1) \cdot 2,6 + 5 = 36,2 \text{ с}$$

$$T_{пп} = 50,2 + 36,2 = 86,4 \text{ с}$$

$$A_1 = 3600 \cdot 13,4 / 86,4 = 558,3 \text{ т}$$

Відповідно для II типу – 90,6 с,  $A_2 = 3600 \cdot 16,0 / 90,6 = 635,8 \text{ т}$

для IV типу – 96,2 с,  $A_3 = 3600 \cdot 17,7 / 96,2 = 662,4 \text{ т}$

для XV типу – 84,4 с  $A_4 = 3600 \cdot 11,9 / 84,4 = 507,6 \text{ т}$

$$A_{cp} = \frac{100}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \dots + \frac{a_n}{A_n}} = \frac{100}{\frac{48}{558,3} + \frac{42}{635,8} + \frac{7}{662,4} + \frac{3}{507,6}} = 593,4 \text{ т.}$$

$$A_r = A \cdot T_\phi = 593,4 \cdot 7100 = 4,21 \cdot 10^6 \text{ т.}$$

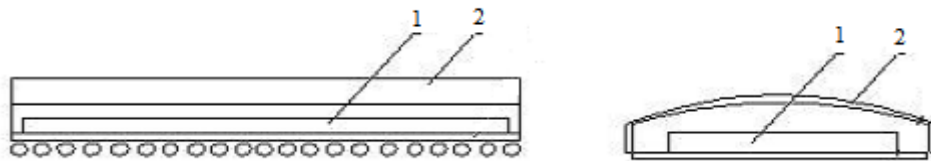
При застосуванні спареної прокатки виробництво збільшується.

**Висновок:** У аналітичній частині роботи розглянуті способи виготовлення слябів, прокатка зливків, нагрівання зливків, механічне устаткування обтискного цеху і його характеристика, «Вузькі місця» виробничого процесу. Запропоновані заходи щодо усунення вузьких місць. Проведені розрахунки параметрів прокатки на стані слябінг 1150, енергосилових параметрів прокатки у горизонтальних та вертикальних валках. Розглянута якість продукції та запобігання утворення дефектів. Проведено розрахунок річного виробництва прокатного стана та наведені графіки залежності енергосилових параметрів.

## 2 Дослідницько-розрахункова частина

### 2.1 Використання теплоізолюючих екранів

Відмічене зниження температури зливка негативно впливає на основні параметри обтиснення на слябінгу 1150, тому для поліпшення цих параметрів пропонується встановлення теплоізолюючих екранів (рис. 2.1).



1 – розкат

2 – свод теплоізолюючого екрану

Рисунок 2.1 – Загальний вид теплоізолюючого екрана над рольгангом

Основу пасивного теплоекранування складає зниження охолодження верхньої поверхні зливку шляхом зменшення його теплообміну з довкіллям. Це запропоновано здійснювати або зниженням міри чорноти системи екрану - підкат (ТЗУ з касетами тепловідражаючих екранів, ТВЕ), або підвищенням температури екранів за рахунок акумуляції тепла касетами при проходженні перших підкатів (ТЗУ з касетами теплоакумулюючих екранів, ТАЕ). У ТЗУ з касетами ТАЕ із зменшенням товщини екранів помітно підвищується ефективність екранування при початковій стадії прокатка, проте зниження товщини екранів істотно зменшує тривалість їх роботи.

Основу ТЗУ активного теплоекранування (АТЕ) складає проходження розкату в процесі його руху через тунель, в якій до верхньої поверхні розкату підводиться тепло.

Основу ТЗУ з касетами псевдоактивних екранів (ПАТАЕ) складає проходження зливка під теплоакумулюючими екранами (ТАЕ), робочу

поверхню яких активно нагрівають до температури, яка дорівнює температурі верхньої поверхні зливка.

Способи зниження охолодження розкату з його верхньої поверхні.

Всі відомі ТЗУ для зниження втрат тепла верхньою поверхнею розкату забезпечені набором секцій, встановлених уздовж рольганга приводом переміщення секцій (від гідроциліндрів) до/від рольганга.

Довжину секцій частіше приймають кратною кроку роликів рольганга, при цьому із збільшенням довжини секцій зменшується величина їх «підскакування» при ударах по ним переднього кінця рухомого по рольгангу розкату, яке небезпечно для торця секції, наступної по ходу вказаного руху розкату. Проте із збільшенням довжини секції з'являються складнощі з оперативним їх відведенням від рольганга. Крім того, із зростанням довжини секцій з'являється необхідність призначення в конструкції підвищених зазорів для компенсації теплових подовжень.

На секції з можливістю оперативної заміни кріплять касети з екранами, що забезпечують реалізацію відмічених способів теплоекранування верхньої поверхні розкату. Висоту розташування робочої поверхні екранів (звернену до розкату) відносно розкату по рекомендації фірми Encosmesh в основному приймають рівною 250 мм [11].

У 2000 р. була створена секція ТЗУ з 4-мя касетами ТАЕ, поперечний розріз і фотографія якої приведені на рисунку 2.2 (пат. РФ 2 122 475. МКИ В21В 35/00). Тепловідбивачі 1 були виготовлені з 2 мм листа маловуглецевої сталі, покритого А1. По центру секції йшов підпружинений відбійник покритий А1. Бічні стінки 3 секції також були захищені А1. Товщина покриття А1 складала порядка 0,25 мм, первинна міра його чорноти знаходилася на рівні 0,2. Відстань між рівнем роликів 4 і відбійником 2 складала 250 мм. Передбачена можливість охолодження тепловідображень 1 сухим повітрям 5. Цим повітрям виключалося також осадження пилу на верхню і нижню поверхні відбивачів 1.



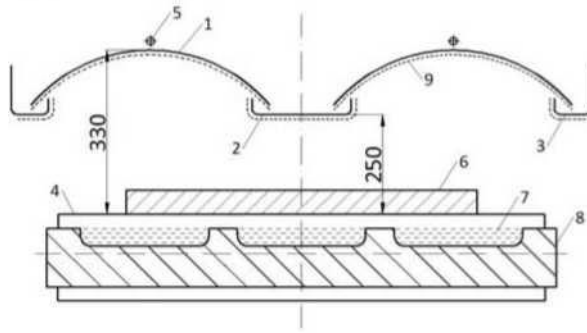


Рисунок 2.2 – Поперечний розріз секції ТЗУ з тепловідображаючий екранами на рольганзі слябінга 1150

Протягом 4-х місяців здійснювали вимір параметрів роботи секції. Встановлено, що при безперервному циклі роботи стану має місце розігрівання відбивачів 1 до 400 °С; подача повітря 5 знижує цей рівень до 180 °С. При цьому відбійник 2 нагрівався до 350 °С без подачі повітря і до 300 °С при подачі повітря. Бічні стінки 3 при подачі повітря і без нього нагрівалися до 250 °С.

По ефективності збереження тепла ТЗУ з касетами ТВЕ практично не поступаються ТЗУ з касетами ТАЕ, в той же час вимагають істотно менших капітальних витрат. Проте в експлуатації ТЗУ з касетами ТВЕ вимагають додаткових експлуатаційних витрат на заміну тепловідображаючих приблизно через 6 місяців їх роботи і відновлення міри чорноти поверхонь відпрацьованих екранів, яке здійснюють дробеструменевою обробкою.

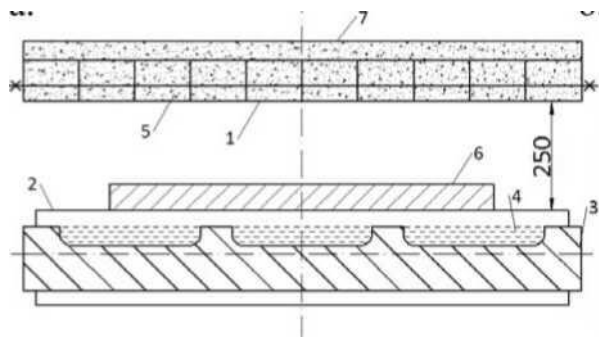
Безінерційність роботи ТЗУ з касетами ТВЕ і можливість їх установки на конструкціях ТЗУ, що несуть, з касетами ТАЕ дозволяють рекомендувати використання ТЗУ з касетами ТВЕ на ділянці рольганга із зниженим часом теплового зливка з екранами.

ТЗУ з касетами ТАЕ. Ці ТЗУ отримали широке вживання для зниження охолодження верхньої поверхні розкату на проміжному рольгангу багатьох БШПСГП.

Найбільшого поширення в чорній металургії набула ТЗУ з касетами ТАЕ, розробленими фірмою Encomesh (EP патенти від 27.04.78 № 0 048 503.

B21B 37/10 і № 0 049 000. B21B 3/02). Фірмою Encomesh ці касети були названі енкопанелями і ця назва міцно увійшло до літератури. У подальшому основну роботу по поширенню вживання цієї ТЗУ виконала фірма Davu McKee, результати діяльності якої по освоєнню цієї ТЗУ приведені в роботах [11]. Слід зазначити високий технічний рівень виконання конструкції приводу переміщення секцій ТЗУ.

Успішно працюють ТЗУ з вітчизняними касетами ТАЕ (РФ, патенти № 1 519 799. B21B 1/26 від 29.02.1988 р. і № 1 671 384. B21B 1/26 від 20.06.1989 р.). Аналіз конструкції цих касет і їх можливостей зберігати тепло підкатів детально викладений в роботах [11]. Рисунок 2.3 (схема поперечного перетину касети) ілюструє ці ТЗУ.



1 - спеціальна труба з жаростійкого сплаву; 2 - верхній рівень ролика рольганга; 3 - міжроликова плита; 4 - повітряна окалина; 5 - мулітокремнеземиста вата (теплоізолятор); 6 - розкат; 7 - войлок мулітокремнеземистої вати.

Рисунок 2.3 – Поперечний розріз ТЗУ на рольганге

У вітчизняних конструкціях касет, по-перше, практично відсутня теплопередача тепла в касетах поперек напрямку руху підкату, по-друге, застосовані екрани завтовшки 1,0 мм, по-третє, істотно знижена передача тепла від екранів до інших елементів касети, по-четверте, використаний серійно виготовлений жаростійкий сплав, швидкість окислення якого 0,08 мм в рік при температурі 1200 °С. Перші три положення істотно підвищили інтенсивність розігрівання екранів, останнє дозволило експлуатувати касети

протягом 3...4 років без заміни. До того ж звернена до розкату поверхня касет володіє високою жорсткістю, що дозволяє касетам добре протистояти ударам розкату.

Згідно з отриманими даними (рис. 2.4), після проходження зливку і відсутності екранування зверху температура нагрітого поверхневого шару окалини протягом випробування із зниженням приблизно на 430 °С (крива 1). Наявність екранів зверху уповільнює охолодження окалини (крива 2).

Відмічені результати з'явилися основою для широкого вживання повітряної окалини як практично безінерційного способу зменшення охолодження нижньої поверхні підкату в ТЗУ з касетами ТВЕ, ТАЕ і ПАТАЕ. При цьому на прикладі ТЗУ з касетами ТАЕ встановлено, що з 100% завдяки ТЗУ ефекту зниження охолодження підкату з верхньою і нижньою його поверхнями, вказане екранування повітряною окалиною забезпечує 50...60 %.

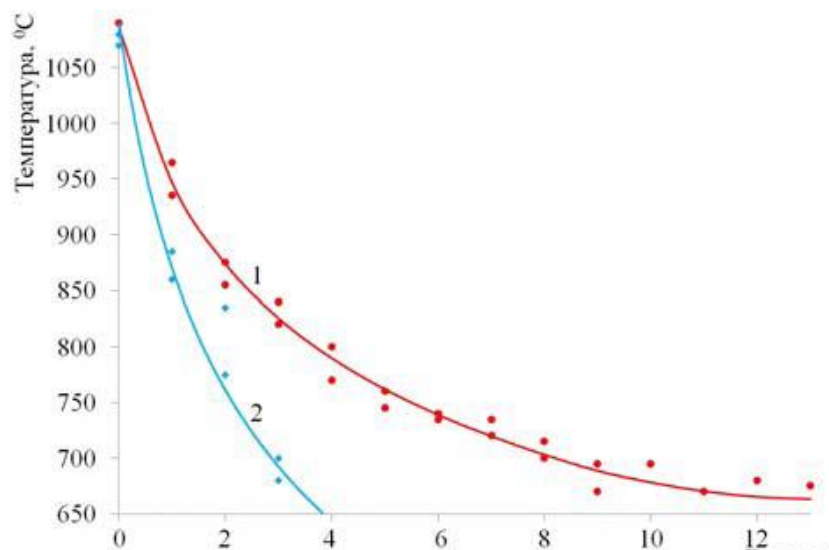


Рисунок 2.4 – Зміна температури поверхневого шару окалини в емкостях мікроликових плит. 1 - поза екрануванням зверху; 2 - під екранами ТАЕ.

## 2.2 Розрахунок показників деформації і енергосилових параметрів прокатування в горизонтальних валках після реконструкції

Після розрахунку режиму деформації сляба необхідно виконати розрахунок енергосилових параметрів прокатки і порівняти їх із значеннями сили прокатки та крутного моменту. В першу чергу визначимо середні швидкості, необхідні для розрахунку швидкості деформації металу і дійсної межі текучості. З метою оцінки максимальних значень енергосилових параметрів розрахунок виконуємо для максимального діаметру валків ( $D = 1150$  мм).

Межу текучості металу визначимо по приведених вище виразах.

Базова межа текучості для сталі 08КП дорівнює  $\sigma_{T6} = 84,8$  Н/мм<sup>2</sup>. Відносне обтискання  $\varepsilon_1 = \frac{75}{780} = 0,096$ , довжина дуги контакту  $l_{d1} = 216$  мм,  $l_d/h_{cp} = \frac{207,666}{730} = 0,29$  окружна швидкість валків  $v_1 = 1,7$  м/с, температура металу  $t_1 = 1250$  °С.

Визначимо коефіцієнт  $k_t, k_\varepsilon, k_u$ :

$$\sigma_T = \sigma_{T6} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u$$

$$\sigma_{T6} = 84,8 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \cdot \left( \frac{1250}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,46$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3(0,5 - 0,096)^2] = 0,988$$

$$u = \frac{1700 \cdot 0,096}{216} = 0,83 \text{ с}^{-1}$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 0,83) = 0,58$$

По формулі отримаємо значення межі текучості:

$$\sigma_T = 84,8 \cdot 0,46 \cdot 0,988 \cdot 0,58 = 22,4 \text{ Н/мм}^2$$

Середнє нормальне контактне напруження дорівнює:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot 22,4(1 + 0,145 \cdot 0,29)[1 + (1,1 - 0,29)^2] = 44,45 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки дорівнює:

$$P = 44,45 \cdot 216 \cdot 1300 \cdot 10^{-6} = 12,48 \text{ МН}$$

Визначимо коефіцієнт положення рівнодійної сил ( $\psi$ ) та крутний момент прокатки:

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,29 + 0,444(0,29)^2 = 0,574$$

$$M = 0,574 \cdot 0,216 \cdot 13,5 = 1,79 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий крутний момент, без урахування додаткових складових моменту трішки перевищує номінальний ( $M_{\text{ном}}=1,28 \text{ МН} \cdot \text{м}$ ), але враховуючи, що дія цього моменту короткочасна, залишаємо набуте значення моменту на шийці валка. Потужності двигуна для одного валка визначаємо по виразу:

$$N_{\text{дв}} = \frac{960 \cdot M \cdot v}{R \cdot \eta}$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{960 \cdot 1,79 \cdot 1,7}{0,575 \cdot \frac{705}{780}} = 5639 \text{ кВт}$$

що менше потужності встановленого двигуна  $N_{\text{дв ном}} = 7200 \text{ кВт}$ .

Зміну температури по проходах приблизно можна визначити по виразу:

$$t_{\text{к}} = t_{\text{н}} - \Delta t$$

На зміну температури під час прокатки впливатимуть декілька основних факторів. Тому необхідно спочатку розглянути зміну температури з основними з них: приріст температури за рахунок деформації, втрати температури через контакт з валками і зниження температури за час перебування розкату на рольгангу між проходами.

Збільшення температури від роботи деформації в кліті:

$$\Delta t_{\text{д}} = 2300 \cdot p_{\text{ср}} \frac{\lg\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right)}{c_n \rho_n} \eta$$

де  $c_n$  - питома теплоємність сталі  $0,67 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ ;

$\rho_n$  – густина сталі ( $7850 \text{ кг}/\text{м}^3$ );

$\eta$  – коефіцієнт обтиску,

звідки:

$$\Delta t_{\text{д}} = 2300 \cdot 51,83 \frac{\lg\left(\frac{1}{1-0,096}\right)}{0,67 \cdot 7850} 0,904 = 0,0898^\circ$$

Спад температури від контакту з валками знайдемо по формулі:

$$\Delta t_B = 1,83 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\sqrt{R \cdot \arccos\left(1 - \frac{H_0 - h_1}{2R}\right)}}{H_0 - h_1} (t_H - 60) \sqrt{\frac{1 + S}{v}}$$

де  $S$  – випередження,

звідки:

$$\Delta t_B = 1,83 \cdot 10^{-12} \cdot \left[ \sqrt{575 \cdot \arccos\left(1 - \frac{780 - 705}{1150}\right)} / (780 - 705) \right] \cdot (1200 - 60) \cdot \sqrt{\frac{1+0,07}{1,676}} = 2,651^\circ$$

Температура на виході з кліті:

$$t_{\text{ВЫХ}} = t_H + \Delta t_d - \Delta t_B = 1250 + 0,089 - 2,651 = 1247,438^\circ\text{C}$$

Спад температури в проміжку між проходами:

$$\Delta t_{\text{МК}} = k_{ct} \frac{T_{\text{ВЫХ}}^4}{h_1} \tau_{\text{МК}} \cdot 10^{-12}$$

де  $k_{ct}$  – поправочний коефіцієнт що враховує втрати температури на видалення окалини.  $k_{ct} = 19,5$

$\tau_{\text{МК}}$  – час між проходами. Оскільки в слябінгу в кожному наступному проході кінець розкату стає його початком при задачі у валки (реверсивні стани) враховується час по середині розкату. В середньому – 10 с.

$$\Delta t_{\text{МК}} = 19,5 \frac{(1247,438 + 273)^4}{705 \cdot 10^{12}} 10 = 1,47^\circ$$

Отже, виходячі з розрахунку усіх змін температури кінцева температура становить:

$$t_K = t_H + \Delta t_d - \Delta t_B - \Delta t_{\text{МК}}$$

$$t_K = 1250 + 0,0898 - 2,651 - 1,47 = 1245,968^\circ\text{C}$$

Усі інші проходи розраховуються за алгоритмом. Для спрощення результати розрахунку заносимо до таблиці 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 – Розрахункові геометричні та енергосилові параметри прокатки сталі 08КП в залежності від проходу (горизонтальні валки)

Номер проходу	Коефіцієнти витяжки $\mu$	Довжина розкату L, м	Швидкість прокатки v, м/с	Довжина дуги контакту $l_d$ , мм	Межа текучості $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
1	1,15	2,53	1,7	216	22,4
2	1,093	2,76	1,73	186	22,8
3	1,122	3,10	1,95	186	23,3
4	1,116	3,46	2,0	186	23,79
5	1,37	3,96	2,26	186	24,22
6	1,15	4,54	2,26	170	24,98
7	1,16	5,26	2,26	170	25,5
8	1,167	6,13	2,26	170	25,9
9	1,223	7,52	2,26	170	26,57
10	1,193	8,96	2,26	153	27,01
11	1,218	10,9	2,26	141	27,65
12	1,093	11,9	2,26	97	28

Таблиця 2.2 - Розрахункові геометричні та енергосилові параметри прокатки сталі 08КП в залежності від проходу (горизонтальні валки)

Номер проходу	Середнє нормальне контактне напруження $P_{ср}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Сила прокатки P, МН	Коефіцієнт положення рівнодіючої сил $\psi$	Круглий момент M, МН · м	Потужність прокату $N_{дв}$ , кВт	$t_k$ , °С
1	2	3	4	5	6	7
1	44,45	12,48	0,574	1,79	5639	1247,4
2	45,67	11,76	0,577	1,21	4870,42	1245,9
3	46,26	11,98	0,559	1,245	5427,03	1241,42
4	46,78	11,95	0,549	1,08	5036	1237,51
5	47,63	11,71	0,528	0,943	4983	1236,7
6	48,89	12,03	0,503	1,05	5347,46	1232,71
7	49,03	11,76	0,474	0,806	4978,28	1230,6
8	49,88	11	0,466	0,742	3843,72	1227,38
9	50,24	10,98	0,435	0,78	3735,36	1222,9
10	51,02	10,01	0,451	0,491	2851,9	1218,94
11	51,97	9,99	0,424	0,488	2879,99	1211,35
12	52,64	8,5	0,479	0,235	1015,23	1207,43

**Висновок:** В цій частині проекту запропоновано використання теплоізолюючого екрану та проведено розрахунок показників деформації і енергосилових параметрів прокатування в горизонтальних валках після реконструкції.

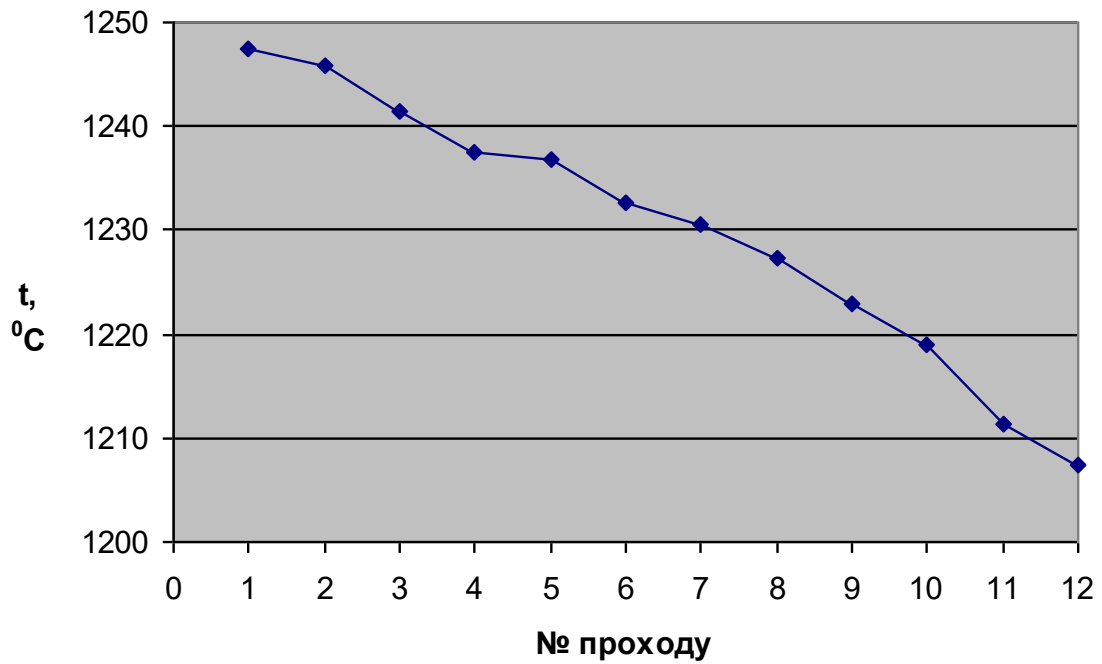


Рисунок 2.5 – Графік розподілу кінцевої температури штаби по проходах горизонтальні валки

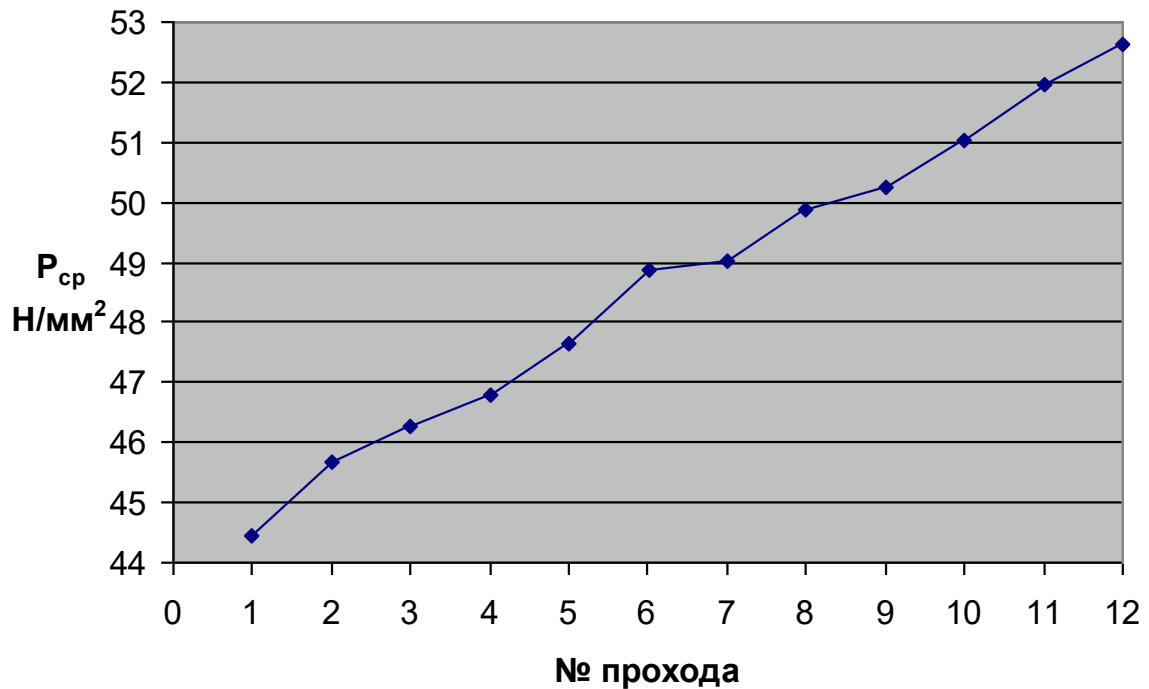


Рисунок 2.6 – Графік розподілу середнього контактного тиску по проходах горизонтальні валки



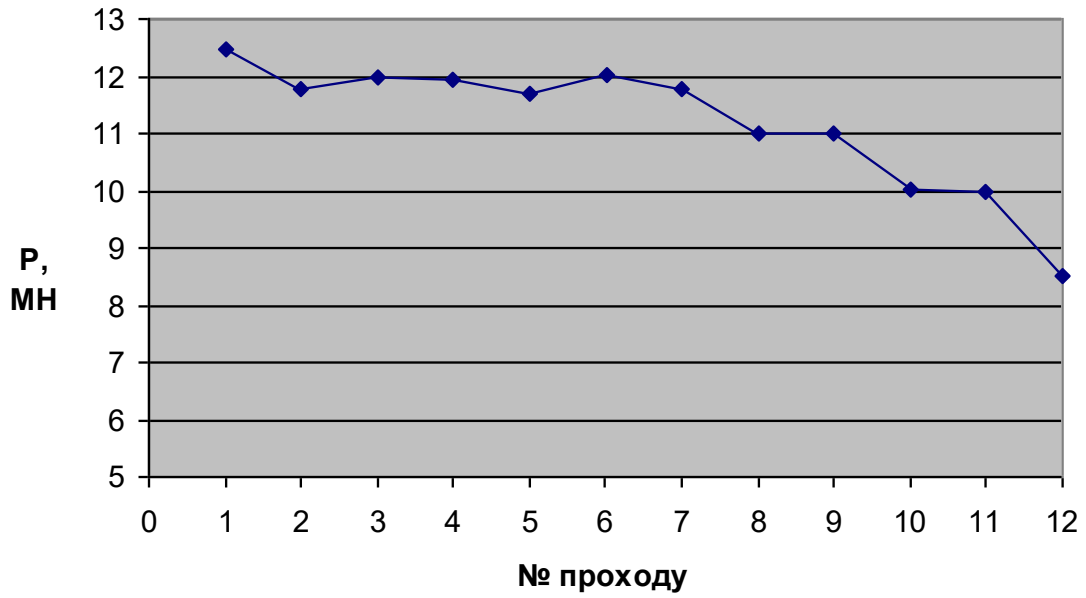


Рисунок 2.7 – Графік розподілу зусилля прокатування по проходах горизонтальні валки

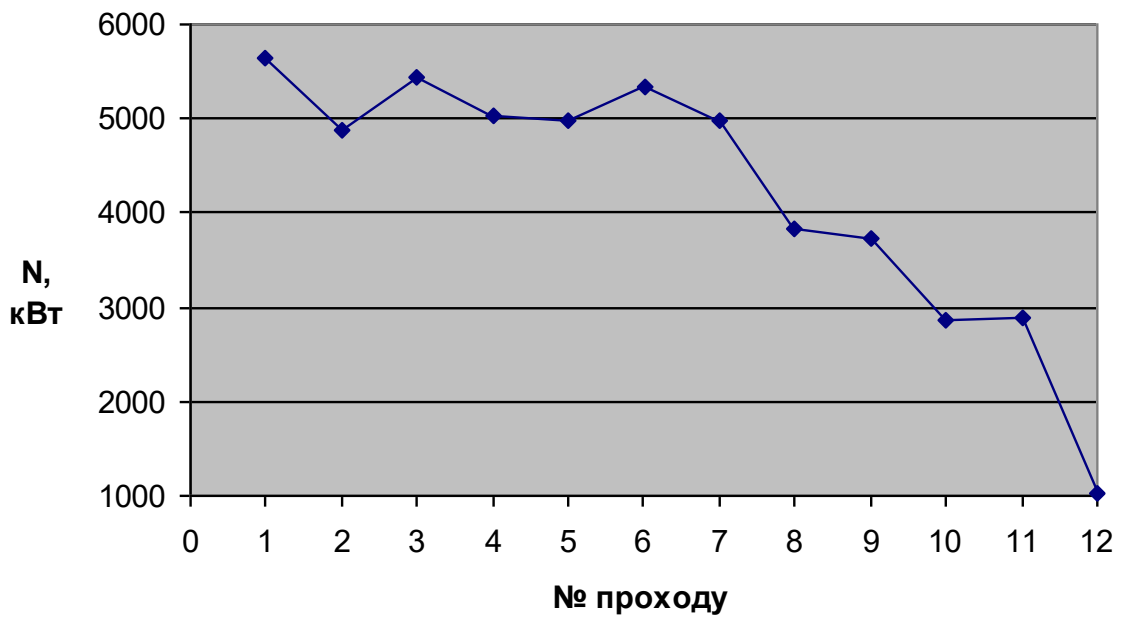


Рисунок 2.8 – Графік розподілу потужності двигуна по проходах горизонтальні валки

### **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:

кВт·ч/т

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

грн/т

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

Вартість електроенергії на рік для прокатування за 13 проходів складає:

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

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 дипломній 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 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Нагрівання металу в обтискному цеху здійснюється в регенеративних нагрівальних колодязях з різним напрямком полум'я.

Використання як палива доменно-коксового й природного газів у нагрівальних пристроях прокатних цехів, пов'язане з небезпекою утворення вибухонебезпечних сумішей і їх запалення. Джерелами запалення вибухової суміші в прокатному цеху є відкрите полум'я, електрична іскра, нагрітий метал і т.ін. Вибухова суміш газів з повітрям звичайно утворюється при порівняно низькій температурі [28].

При експлуатації прокатних станів можливі наступні небезпеки: захват валками або обертовими шпинделями й поєднаними муфтами частин одягу й кінцівок вальцювальника й механічні ушкодження осколками, що відлітають від металу, що прокатується і окалини.

Прокатка на слябінгу, товстолистових станах супроводжується викидами часток окалини з великою швидкістю, осколків металу й бризів шлаків. Частки, що відлітають, руйнують скло постів керування й можуть травмувати операторів-вальцювальників.

У цеху є наступні види шумів: механічний, аеродинамічний, імпульсний, термічний. При тривалому впливі на працюючих, шум різної інтенсивності приводить до розвитку професійної глухоти, перенапружує центральну нервову систему й веде до розладу функцій органів людини. В обтискному цеху спостерігається високий рівень запиленості й загазованості повітря (табл. 4.1). Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони у вигляді газів, пар і пил не повинний перевищувати встановлені норми ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.005-81 ПДК.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу оператора обтискного цеху [24]

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДР, (ГДК)	Фактичне значення	III клас – шкідливі і небезпечні умови і характер			Тривалість дії фактора, % за зміну	Примітка
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> :							
	1 клас безпеки							
	ангідрид хромовий	0,01	0,011	1,1р			86,4	
	2 клас безпеки							
	Марганцю оксиди (у перерахуванні на MnO <sub>2</sub> ) аерозоль дезінтеграції	0,3	0,28				86,4	
	3 - 4 класи безпеки							
	Масла мінеральні	5,0	3,95				86,4	
	азоту діоксид	2,0	1,68				86,4	
	андігريد сірчастий	10	6,5				86,4	
	вуглецю окид	20,0	6,25				86,4	
	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>							
2	Кремнію діоксид кристалічний при вмісті в пилу від 2 до 10% (горючі сланці, мідносольфідні руди й ін.)	4,0	8,5		2,13р		86,4	
	Вібрація (загальна й локальна) дБ							
3	Шум, дБА	80	85	5			10	
4	Інфразвук							
5	Ультразвук							
6	Мікроклімат у приміщ. (теп. період):							
7	- температура повітря, °С	16-27	35,2			8,2	86,4	
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,5	0,24				86,4	
	- відносна вологість повітря, %	40-60	40				86,4	
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	936		936		86,4	
8	Температура зовнішнього повітря (під година роботи на відкритому повітрі), °С							
9	Атмосферний тиск							
10	Важкість і напруженість праці Тривалість зосередження (% к тривалість зміни)	II б середньої важкості						
Кількість факторів			2	2	1			

Висновок: Згідно карти оцінки чинників виробничого середовища оператори поста управління мають право на пенсію за списком № 1, додаткова відпустка, тривалістю 12 діб.

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці на стані слябінг 1150

На високошвидкісних станах, де виникає небезпека розриву сполучних муфт, запобіжні кожухи повинні бути дуже міцними, щоб витримувати удари шматків, муфт що розірвалися. Шпинделі блюмінгів і слябінгів звичайно обгороджують міцним бар'єром і влаштовують майданчика з поручнями для зручності обслуговування.

Усунення неправильного виходу розкату з валків досягається дотриманням режиму нагрівання зливків і заготовок. Подавати для прокатки нерівномірно нагріті заготівлі неприпустимо. Слід проводити ретельне настроювання стану, встановлювати проводки й лінійки в строго передбаченому місці. Застосовувати вивідні проводки без бічних лінійок неприпустимо [29].

Для видалення окалини з поверхні розкату на рольгангу, що підводить, установлюють пристрій гідравлічної або механічної дії з надійним захистом від окалини, що відлітає.

Для захисту від часток, що відлітають при прокатці, окалини, осколків металу й бризгів шлаків перед валками на станині встановлюють екрани - міцні сітчасті щити або густі ланцюгові завіси. Із цією же метою уздовж лінії стану, проти прорізу в станині робочих рольгангів установлюють знімні щити з густої, міцної сітки. Проміжок між валками з боку, протилежному поєднаним шпинделям, закривають запобіжним щитом. Поломка валків, натискних пристроїв і запобіжного скла слябінга пов'язана з виникненням великих зусиль, що перевищують припустимі зусилля.

Для безпечного переходу через рольганги, транспортери, конвеєри обладнають перехідні містки, настил яких футеруються вогнетривкою цеглою для захисту від теплових впливів.

Для видалення пар технологічного змащення в міжклітьових проміжках і за останньою кліттю встановлюють витяжні парасолі.

Робітникам видаються костюми із щільних х/б тканин (ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.045-78 – ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.046-78), у холодну пору року фуфайки, рукавиці, а так само каски, захисні окуляри (ДЕРЖСТАНДАРТ 12435-78).

Для захисту органів дихання робітники забезпечуються респіраторами (ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.041-78) або протигазами (ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.042-78). Електрозахистними засобами є діелектричні рукавички, боти, калоші, килимки, що ізолюють, підставки.

У зв'язку з високим рівнем запиленості й загазованості ділянки стану, а так само в місцях роботи кліщових кранів, кранова кабіна оснащена для очищення повітря й створення нормальних параметрів мікроклімату на робочому місці кранового машиніста, кондиціонером транспортним КТГ-Э-1.V1. Кабіна герметизована для зменшення проникнення зовнішнього повітря.

Продуктивність кондиціонера по повітрю становить 400 м<sup>3</sup>/год; ефективність очищення повітря не менш 92%. У якості холодоагенту використовується хладон.

Параметри повітряного середовища для робочої зони виробничих приміщень і дані зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Значення прийнятих припустимих (оптимальних) параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Характеристика виробничих приміщень по надлишковим тепловиділенням (23 Вт/м <sup>3</sup> )	Категорія роботи	Період року холодний			Температура повітря поза постійними робочими місцями, °С
		на постійних робочих місцях			
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	
1	2	3	4	5	6
>23	Середньої важкості	16-27	до 75	0,2-0,5	Не більше ніж на 5% вище середньої температури зовнішнього повітря

Враховуючи високу біологічну і гігієнічну цінність штучного світла, у проекті передбачається штучне освітлення виробничих приміщень (табл. 4.3), для чого конструктивні розв'язки будинку цеха виконуються з урахуванням вимог ДБН-В.2.5-28-2006-«Природне і штучне освітлення».

Визначивши відповідно до вказівок ДБН розряди виконуваних у цеху робіт із зорової характеристики і установлені для них значення коефіцієнта штучної освітленості (КПО), розраховуємо для кожної із прийнятих у проекті систем штучного освітлення нормовані значення КЕО по формулі:

$$e_n = e \cdot m \cdot c, \quad (4.1)$$

де  $e$  - значення КПО (%), обумовлене з урахуванням характеру зорової роботи;

$m$  - коефіцієнт світлового клімату,  $m = 1,1$  [27, с.107];

$c$  - коефіцієнт сонячності клімату,  $c = 0,8$  [27, с.107];

Значення  $e$  визначаємо по формулі:

$$e = 100 \cdot \frac{E_B}{E_H} = 2,7$$

$$e_n = 2,7 \cdot 1,1 \cdot 0,8 = 2,376 \quad (4.2)$$

Таблиця 4.3 - Прийняті значення освітленості

Найменування відділення, ділянки, робочого місця й допоміжних приміщень	Розряд зорової роботи	Освітленість, (лк) і коефіцієнт запасу						Аварійне освітлення, лк	
		при люмінесцентних лампах			при лампах розжарювання			Для продовження робіт	Для евакуації
		Система комб. освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Система комб. освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу		
Пост управління стану гарячої прокатки	V	400	150	2,0	400	100	1,5	не менше 0,5	не менше 0,5



Для даної професії (оператор) рівень шуму становить 85 дБА. Для попередження шкідливого впливу шуму на людину застосовують цілий комплекс захисних заходів. Виробниче устаткування, що створює шум, забезпечують паспортом, у якому вказують шумові характеристики його роботи. Для даного розміру шуму потрібно передбачити шумопоглинальний екран. Якщо немає можливості його установки в такому положенні, щоб від шуму були захищені всі працівники, тим хто буде попадати під вплив шуму потрібно видати навушники.

Відповідно до норм і правил сумарний час контакту робітників з вібруючими поверхнями не повинен перевищувати двох третин тривалості робочого часу. При цьому рекомендується, щоб ці робітники періодично працювали на інших операціях, не пов'язаних з дією вібрації [30].

Джерелом інтенсивних теплових випромінювань є нагріті зливки. Робітники прокатного цеху періодично зазнають впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях прокатчиків залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані становить від 0,01 до 5,6 - 7,0 кВт/м<sup>2</sup>. При виконанні окремих операцій інтенсивність опромінення досягає 10,5 кВт/м<sup>2</sup> і більше. Вплив на організм теплового випромінювання вище встановлених норм викликає порушення теплового балансу організму, теплові удари, опіки й більш важкі травми.

### **4.3 Пожежна та техногенна безпека**

Усі виробництва згідно з будівельними нормами та правилами ДБН В.2.2-28-2010 залежно від ступеня пожежної небезпеки підрозділяються на категорії А, Б, В, Г, Д. Обтискне виробництво належить до категорії пожежної небезпеки Г, пов'язане з обробкою неспалених речовин і матеріалів у гарячому, розпеченому або розплавленому стані, що й супроводжуються виділеннями променистого тепла, постійним виділенням

іскор і полум'я, а також виробництва, пов'язаного із систематичним спалюванням твердого, газоподібного і рідкого палива.

У приміщеннях категорії Г пожежна безпека в будинку й спорудженні забезпечується звичайно планувальними розв'язками, добором і компонованням вогнестійких будівельних конструкцій. Повинні дотримуватися відповідні протипожежні розриви між будинками, залежно від їхньої вогнестійкості, дотримуватися вказівки ДБН В.2.5-64-2012 про прокладку комунікаційних трубопроводів горючих газів і легко займистих рідин.

Усі вибухо- і пожежонебезпечні виробництва мають системи автоматичного пожежогасіння. Застосовуються так само сигналізаційні комплексні пожежні установки, що мають блок інформації, пов'язані з пожежною частиною.

Для гасіння пожеж застосовують воду, водні емульсії вуглеводнів, хімічну й повітряно-механічну піну, вуглекислоту, інертні гази, порошки й різні комбінації цих составів.

При пожежі в електроустановках, що перебувають під напругою застосовують порошки типу СЧ. Для гасіння пожеж в прокатному цеху споруджена мережа зовнішнього й внутрішнього протипожежного водопроводу, що полягає із запасних резервуарів, насосної станції, водозабірних споруджень, трас трубопроводу, на яких через кожні 100м розміщують пожежний гідрант. Внутрішні пожежні крани для подачі води встановлені у шафках на майданчиках сходових кліток, у коридорах, обладнані пожежним рукавом довжиною 10 – 20 м, пожежним стовбуром зі сприском. До апаратів газового пожежогасіння відносять пересувний вуглекислотний вогнегасник типу УП-2М, призначений для гасіння палаючих матеріалів. Так само використовують ручні повітряно-пінні вогнегасники ВВП-5, ВВП-10 і ВХП-10.

У цеху є протипожежний реманент у вигляді ящиків із сухим піском (не менше 5м<sup>3</sup>), щити з вогнегасниками, пожежними ведрами, лопатами, баграми, ломами, шланги для кранів.

Можливі причини виникнення аварій на об'єкті. Причини аварій, пов'язані з відмовою (неполадками) устаткування.

До основних причин, пов'язаних з відмовою устаткування відносяться:

- корозія устаткування і трубопроводів;
- фізичне зношування, механічне ушкодження, руйнування або температурна деформація устаткування і трубопроводів;
- відмови або збої в роботі автоматичних систем (збої в енергопостачанні).

Корозія устаткування і трубопроводів може стати причиною часткового руйнування технологічного устаткування. Аналіз аварій на аналогічних об'єктах дозволяє зробити висновки про те, що корозійне руйнування при достатній міцності конструкцій устаткування або трубопроводів, найчастіше має локальний характер. Однак, при несвоєчасній локалізації, воно може послужити джерелом ланцюгового розвитку аварійної ситуації (витоку газу, утвору газоповітряної токсичної хмари, пожежі або вибуху газоповітряної суміші).

Фізичне зношування, механічне ушкодження, руйнування або температурна деформація устаткування й трубопроводів може привести як до часткового, так і до повного руйнування технологічного устаткування і трубопроводів.

Причини аварій, пов'язані з помилками персоналу.

Рівень автоматизації технологічного процесу вимагає від обслуговуючого персоналу високої кваліфікації і підвищеного уваги. Особливу небезпеку представляють помилки при пуску і зупинці устаткування, ведення ремонтних, профілактичних і інших робіт, пов'язаних з нестійкими перехідними режимами, зі спорожнюванням і заповненням

устаткування небезпечними речовинами. У випадку неправильних дій персоналу існує небезпека руйнування технологічних систем і виникнення аварій.

Аналіз матеріалів розслідування аварій показує, що 66,5% вибухів, пожеж і загорянь відбувається в результаті помилок при експлуатації устаткування, з них 20% аварій - через недотримання норм технологічного регламенту.

Причини, пов'язані із зовнішніми впливами природного й техногенного характеру.

До зовнішніх впливів природного й техногенного характеру можна віднести:

стихійні лиха:

- сніжні замети, сильна ожеледь, сильна заметіль;
- дуже сильний мороз (- 30°C и нижче);
- дуже сильна жара (+ 40°C и більш);
- зсувні явища, осідання (провал) земної поверхні;
- сильний вітер, включаючи шквали й смерчі;
- великий гради, дуже сильний дощ, дуже сильний снігопад;
- сильне налипання (відкладання) снігу;
- грозові розряди й розряди статичної електрики;
- влучення устаткування в зону дії вражаючих факторів аварій, що

виникли на сусідніх об'єктах;

- аварії на комунально-енергетичних мережах;
- навмисні дії (диверсія).

За ОНТП 24 – 86 приміщення обтискного цеху належить до категорії «Г». Згідно з ПУЕ пожежно-небезпечна зона має клас "П-Ш" .

#### 4.4 Розрахунки екрана для захисту від теплового випромінювання

Потік променистої енергії від нагрітої поверхні, зустрічаючи на своєму шляху екран, що володіє відбивною здатністю, в основному відбивається від нього назад до джерела випромінювання: деяка частина потоку поглинається екраном [29].

Випромінювання нагрітого екрана значно слабкіше, чим випромінювання первинного джерела.

##### Вихідні дані:

Температура підлоги пульта керування  $t_1 = 600^{\circ}\text{C}$ ; температура повітря в цеху  $t_2 = 35,2^{\circ}\text{C}$ . Підлога пульта керування вкрита листами чорного заліза зі ступенем чорноти заліза  $E_H = 0,8$ . Потрібно одержати температуру на зовнішній поверхні огороження  $t_3 = 25^{\circ}\text{C}$ .

Для проведення розрахунків потрібно перевести температури із градусів у Кельвіни.

$$T_{\text{під}} = 273 + t_1 = 273 + 600 = 873 \text{ К};$$

$$T_{\text{воз}} = 273 + t_2 = 273 + 35,2 = 308,2 \text{ К};$$

$$T_{\text{нар.пов}} = 273 + t_3 = 273 + 20 = 293 \text{ К}.$$

Визначимо ступінь екранізації, по формулі:

$$\mu = \frac{T_{\text{під}}}{T_{\text{нар.пов}}} . \quad (4.2)$$

Одержимо

$$\mu = \frac{873}{293} = 2,98 .$$

По довідникові підбираємо екран з альфоля, ступінь чорноти якого становить  $\varepsilon_a = 0,07$ . Тоді наведену ступінь чорноти обчислимо по формулах:

а) між залізною підлогою й екраном:

$$E_{\text{же}} = \frac{1}{\frac{1}{E_H} + \frac{1}{E_a} - 1} ; \quad (4.3)$$

б) між джерелом енергії й повітрям:

$$E_{\text{ин}} = \frac{1}{\frac{1}{E_{\text{н}}} + \frac{1}{E_{\text{в}}} - 1}, \quad (4.4)$$

де  $E_{\text{в}} = 0,82$ , здатність повітря поглинати.

Підставивши значення у формулу (7.3) і (7.4), одержимо:

$$E_{\text{же}} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,07} - 1} = 0,07,$$

$$E_{\text{ин}} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,82} - 1} = 0,7.$$

Визначимо число екранів по формулі:

$$n = \frac{1 - \left( \frac{\dot{Q}_{\text{нв}}}{\dot{Q}_{\text{гзв}}} \right)^4}{\frac{1}{\mu^4} - \left( \frac{\dot{Q}_{\text{нв}}}{\dot{Q}_{\text{гзв}}} \right)^4} \times \frac{\varepsilon_{\text{а}}}{A_{\text{еа}}} - 1. \quad (4.5)$$

Підставивши значення у формулу (7.5), одержимо:

$$n = \frac{1 - \left( \frac{308,2}{873} \right)^4}{\frac{1}{2,98^4} - \left( \frac{308,2}{873} \right)^4} \times \frac{0,07}{0,7} - 1 \approx 1$$

З розрахунків видно, що досить одношаровий екран з альфоля, щоб забезпечити температуру поверхні підлоги пульта керування бажаної температури  $t_3 = 20^\circ\text{C}$ .

Характеристика одношарового екрана з альфоля:

- пропускає випромінювання 378 кДж (м<sup>3</sup>год.)
- застосовується при випромінюванні 2,52 кДж×104 (м<sup>2</sup>год.)
- конвекцію 163,8 кДж (м<sup>2</sup>год.)

Встановлена температура: 35<sup>0</sup>С.

Маса одного квадратного метра дорівнює 4,2 кг.

## ВИСНОВКИ

- Розглянуто методи зменшення енерговитрат використання тепловідбивних екранів з метою економії енергоресурсів, зокрема електроенергії. Конструкція вибраних теплових екранів з низькою тепловою інерційністю має здібність до значного термічного розширення без збільшення габаритів.
- 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 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.
- Доцільним представляється використовувати на обтискному стані тепловідбивні екрани, оскільки вони мають більшу швидкодію в порівнянні з теплоаккумуляючими 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  $15 - 28^{\circ}\text{C}$ .

## ПРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. В.А. Николаев. Горячая прокатка листов и полос Учебное пособие. Часть 1. По дисциплине « Производство горячекатаных полос» Запорожье, ЗГИА, 2014. - 176с.
2. Николаев В. А. – Технология прокатки листов и полос: Учебное пособие. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
3. Непрерывная разливка слябов – прямая прокатка рулонов. – М.: // Черная металлургия. Сер. «Прокатное производство»: Экспресс – информ (ЦНИИТЭИЧМ).- 1989, №12. – С. 1 – 6.
4. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы. – Донецк: Технопарк ДонНТУ, УНИТЕХ, 2008.–552с.
5. Клименко В. М., Орнатский Э. А., Горелик В. С. Снижение торцевой обрезки при прокатке непрерывно-литых слябов: сб. «Теория и практика производства широкополосной стали». Сер. Металлургия / Минчермет СССР, 1979. – Вып. №4.- С. 5 – 9.
6. Смирнов А. Н., Пелюшенко В.Л., Минаев А.А. и др. Процессы непрерывной разливки.– Донецк : ДонНТУ, 2002.–536 с.
7. В.А. Николаев Технология и особенности процессов сортовой и полосовой прокатки. Учебное пособие. Запорожье, ЗНТУ. 2011. - 344с.
8. Ніколаєв В.О. Дипломне проектування: Методичні вказівки та рекомендації [Текст] : Для студ. всіх форм навчання за спец. "ОМТ" / В.О. Ніколаєв, М.Г. Прищип ; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2003. - 103 с.
9. Виробництво передільних і товарних слябів з злитків вуглецевих, низьколегованих, високолегованих високовуглецевих марок сталі. Технологічна інструкція ТІ 226 03.01.2000 - Запоріжжя, 2000.
10. Матеріали ВАТ МК Запоріжсталь
11. Хлопонин В.Н., Бемянский А.Д., Корышев А.Н. Разработка теплосохраниющих экранов для промежуточного рольганга стана горячей прокатки. // «Сталь», 1994, № 5, с. 52 – 55.



12. М.Г. Прищип Методичні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів для студентів ЗДІА «Обладнання цехів ОМТ», / М.Г. Прищип – Запоріжжя: ЗДІА, 2014 – 76с.

13. Инструкция для условий нормальной эксплуатации газо-использующего оборудования обжимного цеха ЦТИ №04.01-2014.

14. Королёв А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов.-4-е изд., перераб. и доп.- М. Metallurgiya, 1987. - 480 с.

15. Королёв А.А. Конструкция и расчёт машин и механизмов прокатных станов. – М.: - Metallurgiya, 1969. – 464 с.: ил.

16. Карта умов праці № 04-0245 Обтискний цех стан нагрівальні колодязі 3.: ВАТ МК Запоріжсталь.

17. Машины и агрегаты металлургических заводов: Учебник для вузов: В 3-х т. / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник. – М.: Metallurgiya. Т. 3 Машины и агрегаты для сталеплавильных цехов, 1988. – 432 с.

18. Прищип М.Г. Методичний посібник до виконання курсових робіт з дисципліни ТЛ і КМЦ [Текст]: МП / М.Г. Прищип – Запоріжжя: ЗДІА, 2002 – 74с.

19. Аксельруд Л.Г., Сухов И.И., Тымчак В.М. Нагревательные колодцы. - М. Metallurgizdat:1962.-236 с.

20. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 2-х т.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, т.2: 1973. - 577 с.: ил.

21. Целиков А.И, Прокатные станы. [Текст, табл.]: Учебник / А.И. Целиков, В.В. Смирнов – Москва: Гоонаучтехиздат, 1958 - 434с.

22. М.Г. Прищип Методичні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів для студентів ЗДІА «Обладнання цехів ОМТ», / М.Г. Прищип – Запоріжжя: ЗДІА, 2014 – 76с.

23. Прищип М. Г. Механічна обробка та зварювання металів. Учб. Посібник . - Запоріжжя: ЗДІА, 2003 – 124 с.

24. История фабрик и заводов: “Запорожсталь”. П. Д. Омеляненко, В. Б. Репин, И. В. Веретельник и др. – Днепропетровск: Промінь, 1973. – 255 с.

25. Прищип М.Г. Конструкція агрегатів цехів ОМТ: метод. вказівки до практичних занять та контрольних робіт для студ. ЗДІА спец. "ОМТ" / М. Г. Прищип, Д. О. Кругляк ; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2014. - 49 с.
26. Прищип М.Г. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів [Текст] : конспект лекцій / М. Г. Прищип, К. В. Таратута ; ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2006. - 139 с.
27. Методические рекомендации к выполнению экономической части дипломного проекта по дисциплине “Организация, планирование и управление деятельностью предприятия” /Разр.: Иващенко О. В. – ЗГИА, 2004. – 30 с.
28. Самойлюк Е. П., Сафонов В. В. Борьба с шумом и вибрацией в промышленности. - К. Выща школа., 1990. - 167 с.
29. Румянцев В.Р. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах. - Запорожье: ЗГИА,2002.- 56с.
30. Инструкция по охране труда № 0-20-2001 для персонала комбината, обслуживающего газовое хозяйство в цехах и на участках. - Запорожье.
31. ПДП АО «Запорожсталь». Порядок действия персонала при возникновении отклонений от технологических параметров работы оборудования. Обжимной цех.