**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**
___Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки__

# Кваліфікаційна робота / проєкт

_____Перший (бакалаврський)_____
(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка технології прокатки гарячекатаної штаби 4,0х1100 мм зі сталі 60С2 на безперервному тонколистовому стані 1680**

Виконав: студент __IV_ курсу, групи 6.1362-омт-с
спеціальності _____136 Металургія_____
(код і назва спеціальності)
освітньої програми ___Обробка металів тиском__
(код і назва освітньої програми)
_____Д. С. Савощенко_____
(ініціали та прізвище)

Керівник
проф. каф. МТЕТБ, д.т.н. _____Ю. О. Бєлоконь

Рецензент
проф. каф. МТЕТБ, д.т.н. _____В.О. Скачков

Запоріжжя – 2025 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**Запорізький національний університет**
( повне найменування вищого навчального закладу )

Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___
Рівень вищої освіти __перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність _____136 «Металургія»_____
(код та назва)
Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТБ
_____Ю.О. Бєлоконь
"_27_" ___12_____2024 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____Савощенко Дмитро Сергійович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка технології прокатки гарячекатаної штаби 4,0х1100 мм зі сталі 60С2 на безперервному тонколистовому стані 1680___**

керівник роботи (проекту)__Бєлоконь Юрій Олександрович, д.т.н., проф.___,
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" 12. 23 р. № 2215-с

2. Строк подання студентом роботи _____10 червня 2025 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали виробничої (переддипломної) практики, курсові проєкти, технічна документація, літературні джерела, інтернет-ресурси. Профіль – 4,0х1100 мм, матеріал – сталь 60С2._____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка технології гарячої прокатки штаби 4,0х1100 мм зі сталі 60С2 та реконструкція дільниці чистової групи стану гарячої прокатки 1680 ПАТ "Запоріжсталь".

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

Презентація до 15 слайдів (графіки залежностей, схем деформацій, схеми розміщення устаткування та обладнання тощо).

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата завдання прийняв |
|---|---|---|
| 1 Загальна частина | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |
| 2 Технологічна частина | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |
| 3 Механічна частина | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |
| 4 Охорона праці та техногенної безпеки | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |

7. Дата видачі завдання __26.12.2023 року.__

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Реферат, вступ, розділ 1. | 12.02.25 – 13.03.25 | |
| 2. | Розділи 2 - 3 | 16.03.25 – 17.04.25 | |
| 3. | Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації. | 20.04.25 – 24.05.25 | |

**Студент** _____ **_Д. С. Савощенко_**
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)** _____ **Ю. О. Бєлоконь**
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Нормоконтроль пройдено**
**Нормоконтролер** _____ **___Г. В. Карпенко**
( підпис ) (прізвище та ініціали)

# РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 110 с., 12 рис., 16 табл., 19 джерел.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, СЛЯБ, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, ОБТИСНЕННЯ, ВАЛКИ, СМУГА, ШВИДКІСТЬ ПРОКАТКИ, КУТ ЗАХВАТУ, ДУГА ЗАХВАТУ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, РОЗКАТ, ВИПЕРЕДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – прокатний цех металургійного заводу.

Мета проекту – розробка технології виробництва гарячекатаної смуги із пружинних сталей у рулон масою 7,5 т на стані БТЛС 1680.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків у прокатному виробництві

У даній кваліфікаційній роботі проводиться розробка технології прокатки гарячекатаної смуги із пружинної сталі 60С2 у рулон масою 7,5 т. Виробляється розрахунок режимів обтиснень, розрахунок силових параметрів прокатки, розрахунок крутних моментів прокатки й температурного режиму в чистовій і чорновій клітях. Також розглядаються заходи щодо охорони праці.

Модернізація технології може здійснюватися шляхом заміни електродвигунів, установки й модернізації допоміжного устаткування, що дозволить збільшити довжину слябів, що прокатуються, зменшити час технологічних пауз, зменшити кількість обрізі.

ЗМІСТ

ВСТУП.....6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА…… 7
1.1 Загальна характеристика технологічного процесу.....7
1.2 Склад і характеристика стану гарячої прокатки тонкого листа 1680.....15
1.3 Розрахунок пропускної здатності агрегатів за хронометражним даними.35
1.4 Аналіз «вузьких місць».....37
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....38
2.1. Технологія прокатки в чорновій групі.....38
2.2 Технологія прокатки в чистовій групі.....59
2.3 Технологія прокатки у вертикальних валках.....76
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА.....78
3.1 Розрахунок на міцність деталей кліті.....78
3.2 Розрахунок на міцність натискних гвинтів і гайок.....82
3.3 Розрахунок на міцність станини.....86
3.4 Розрахунок на міцність шпинделів.....90
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....93
4.1 Ступінь безпеки процесу гарячої прокатки штаби, рівня його механізації та автоматизації ……93
4.2 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....95
4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії.....97
4.4 Електробезпека ……100
4.5 Пожежна та техногенна безпеки ……103
4.6 Заходи щодо захисту навколишнього середовища.....104
4.7 Інженерна розробка медичного захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....105
ВИСНОВКИ.....108
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ …… 109

# ВСТУП

Приватне акціонерне товариство металургійний комбінат «Запоріжсталь» спеціалізується головним чином на випуску гарячекатаних і холоднокатаних рулонів і листів. Незважаючи на падіння цін на дану продукцію в середньому до 300 дол. / тонн, підприємство працює з прибутком. На сьогоднішній день прибуток до вирахування податків, відсотків і амортизації «Запоріжсталі» становить 250 млн дол.

Мінімальні ціни на металургійну продукцію - не єдина проблема «Запоріжсталі». Є ціла низка внутрішньоукраїнських проблем. В першу чергу – це повномасштабне вторгнення та агресія проти України у 2022 році. Проте, у минулому році ПАТ «Запоріжсталь» вийшов на історичний максимум по виробництву. За перші місяців 2024 року запорізькі металурги збільшили виробництво сталі і прокату на 1,5% і 1,4%, до 2,979 млн т. і 2,546 млн т. відповідно. У планах у запорізьких металургів масштабна модернізація виробництва, яка передбачає будівництво нового конвертерного цеху з ливарно-прокатними модулями потужністю 5 млн т/рік.

Стан гарячої прокатки БТЛС 1680, введений в експлуатацію ще у 1937 році, відіграє важливу роль у виробництві гарячекатаного тонколистового прокату. Попри модернізації, обладнання стикається з низкою технічних проблем, які обмежують продуктивність і якість продукції. Саме тому метою роботи стало виявлення «вузьких місць» у роботі стана і розробка шляхів їх усунення.

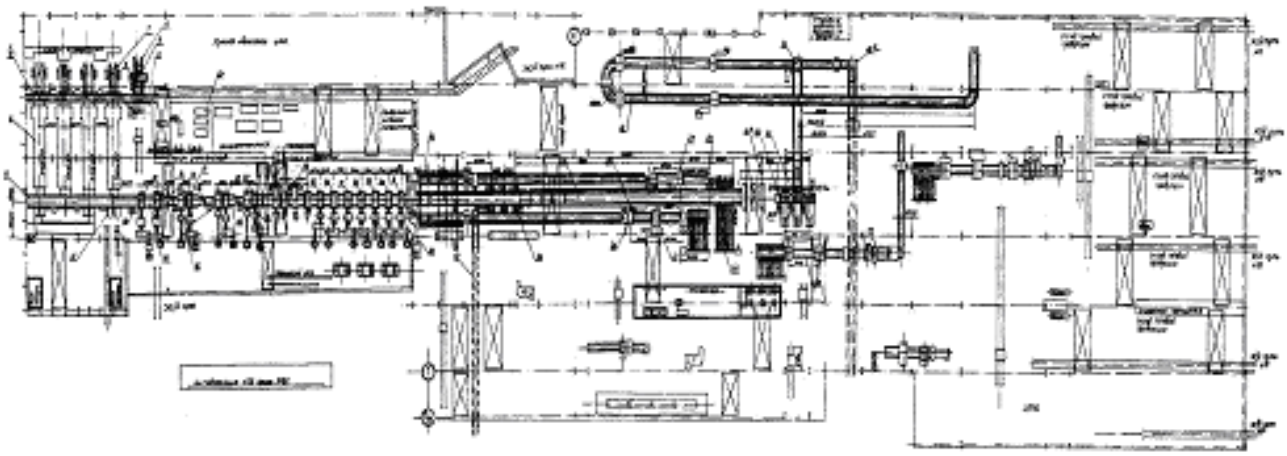
# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Загальна характеристика технологічного процесу

В Україні встановлені й працюють два безперервних широкоштабові стани (стан 1680 і стан 1700), на яких удосконаляться технологія виробництва штаб, забезпечується одержання смугової сталі з високою якістю поперечного профілю і механічних властивостей металу.

Безперервний стан 1680 гарячої прокатки смуг побудований в 30-і роки 20-го століття. На цьому стані прокочують смуги товщиною 1,5-8 мм, шириною 1000-1500 мм із маловуглецевих марок сталі. З нержавіючих і легованих марок сталей прокатують також смуги товщиною $h\rangle 3{,}5мм$ і шириною $B\langle 1300мм.$ Заготівля для стана служать сляби товщиною 120-160 мм, масою $G = 5{,}5т$ і довжиною L $L_{сл}\, 4{,}5 - 4{,}7м$ прокатують смуги товщиною $h\langle 2{,}5мм \quad (B \approx 1000мм)$, а зі сляба масою $G = 15т$ й довжиною $L_{сл} = 9{,}5м$ прокочують смуги товщиною $h\langle 2{,}5мм$.

На стані встановлені п'ять методичних чотирьохзоних печей із глісажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів, калорійністю 1070-1350 ккал/м$^3$. Однак у зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використаються періодично 1-2 печі для прокатки зворотних або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл 1 і по рольгангу 2 до печі. Посадка слябів у печі 3,4 виконується штовхачами 5. Одночасно з печей видаються нагріті сляби на нижній грубний рольганг 6. На поверхні сляба завжди є товстий (4-6 мм) шар грубної окалини, виламування якої виробляється у двохвалковим окалініломателі. Розпушена окалина віддаляється з поверхні сляба гідросбивом, що подає на сляб воду з тиском 9-12 МПа.



1 – завантажувальний стіл для слябів; 2 – завантажувальний рольганг; 3,4 – нагрівальні печі; 5 – штовхачі слябів; 6 – рольганг від слябінга; 7 – теплові екрани; 8 – двохвалковий окалиноломач; 9 – перша чорнова кліть кварто; 10 – чорнові кліті з вертикальними валками; 11 – проміжний рольганг; 12 – летучі ножиці; 13 – чистовий окалиноломач; 14 – шість клітей кварто чистової групи; 15 – рольганг; 16 – машзал; 17 – вальцешлифовальна майстерня; 18 – рельсошлях від слябінга; 19 – візок; 20 – ділянка верстатів для зачищення слябів

Рисунок 1.1 – Схема розташування устаткування ШСГП 1680:

У чорновій групі встановлені чотири кліті з робочими валками діаметром 940 мм і опорними 1320 мм; кліть 2 – з робочими валками діаметром 810 мм і опорними – 1240 мм; кліті 3,4 – з валками діаметром відповідно 580-590 і 1240 мм. Всі опорні валки і робочі валки клітей 1 і 2 виготовлені зі сталі марки Ст. 9×90. У клітях 3 і 4 робочі валки виготовлені із чавуну з вибіленою поверхнею. Ці валки відповідно до прийнятого на заводі маршрутом установки валків по клітях стана переходять після відпрацьовування до певного діаметра в чистовій групі клітей. Валки вертикальних клітей діаметром 810 виготовлені з кованої сталі марок Ст. 50, Ст. 50. Потужність двигуна клітей з горизонтальними валками дорівнює: кліть 1 – 5-5400 кВт; 2-4 – по 4000 кВт, а окружна швидкість робочих валків

клітей $4 - V_4 = 2{,}2 - 2{,}5 мм.$ У чорновій групі застосовується безперервна прокатка слябів довжиною 9-9,5 по такому режимі: окалиноломатель – кліть 1, кліті 2-3 і кліті 3-4. Розкат виходить повністю із кліті 1 і тільки потім прокатується в групі клітей 2-3. У кліті 4 розкат прокочують після виходу із кліті 2. При вході в кліть 1 температура розкату дорівнює 1150-1180° С, а в міру прокатки температура розкату зменшується й за кліттю 4 становить 1080-1100°С.

*Вихідний метал*

Безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки 1680 призначений для прокатки смуг товщиною від 2,0 до 6,0 мм і шириною від 900 до 1520 мм. Також допускається прокатка освоєного сортаменту смуг товщиною від 6,1 до 10,2 мм, і шириною від 850 до 900 мм.

При поставці прокату за ДСТ 16523-97 на поверхні гарячекатаного прокату не повинне бути полон, порізів, міхурів, заходів, вкатаної окалини, перетравов, недотравов, розшарувань.

При поставці прокату за ДСТ 14637-89 на поверхні гарячекатаного прокату не повинне бути рванин, наскрізних розривів, розкатаних пригару і скоринок, а також міхурів-здуттів, гармошки, тріщин, полон, забруднень і вкатаної окалини. Вихідним металом для виробництва гарячекатаних смуг і листів з нержавіючої сталі служать передільні сляби, по розмірах, формі і якості поверхні, що задовольняють вимогам внутрішньозаводських технічних умов. Розміри слябів, призначених для переділу в тонколистовому цеху залежать від марки сталі і варіанта замовлення. Фактичне граничне відхилення по ширині штаби не повинне перевищувати +20 мм при ширині смуг до 1000 мм (включно). Для гарячекатаних штаб, призначених для подальшого переділу на холоднокатаний лист, що допускає відхилення не повинне перевищувати +20 мм.

Відхилення від площинності штаб товщиною від 2,0 до 3,9 мм не повинне перевищувати 15 мм, а для штаб товщиною від 4,0 до 9,0 мм - 12 мм на довжині 1м стали, що поставляється в листах.

Телескопичність рулонів не повинна перевищувати 100 мм для смуг товщиною 2,0 - 2,5 мм і 70 мм для смуг товщиною 2,6-9,0 мм.

Поперечна різнотовщиність штаб, призначених для переділу на холоднокатаний лист, не повинна перевищувати 0,10 мм.

*Прокатка слябів*

Безперервні стани характеризуються тим, що метал при прокатці перебуває одночасно в декількох клітях, тому швидкість обертання валків у клітях повинна регулюватися і підбиратися так, щоб витрата металу в одиницю часу в будь-якій кліті був постійним і рівним.

Після проходження чорнового окалиноломателя (кліть ДУО) розкат проходить через інші кліті чорнової групи.

Максимальне обтиснення, що допускає, по клітях чорнової групи залежно від ширини сляба наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Допустимий обтиск по клітях чорнової групи.

| № Кліті | Максимальні обтиснення при прокатці вуглецевих і низьковуглецевих сталей, % | |
|---|---|---|
| | Ширина сляба до 1250 мм | Ширина сляба понад 1250 мм |
| Окалиноломатель "ДУО" | 25 | 20 |
| №1 | 37 | 35 |
| №2 | 40 | 37 |
| №3 | 40 | 37 |
| №4 | 40 | 37 |

За 8 - 24 години до початку прокатки слябів нержавіючих сталей виробляється перевалка робочих валків клітей № 1-3. Безпосередньо перед початком прокатки виробляється перевалка робочих валків № 4-10. Якість поверхні валків повинне відповідати внутрішньозаводським вимогам. Настроювання клітей чорнової групи виробляється залежно від вихідної товщини слябів і необхідної товщини підкату. При цьому обтиснення по

окремих клітях повинні бути не більше : ДУО - 18 мм, №1 - 40 мм, №2 - 30 мм, №3 - 14 мм, №4 - 8 мм для настроечного підкату.

Розчин між вертикальними валками встановлюється більше номінальної ширини смуг, що прокатується, на величину, наведену в таблиці № 1.2

Таблиця 1.2 – Розчин між вертикальними валками залежно від ширини смуги

| Номінальна ширина смуги, мм | Збільшення розчину вертикальних валків проти номінальної ширини смуги, мм | |
|---|---|---|
| | Вертикальна кліть №1 | Вертикальні кліті №2, №3. |
| Від 780 до 1000 | 25 | 20 |
| Від 1000 до 1300 | 30 | 25 |
| Від 1300 до 1420 | 35 | 30 |

Напрямні лінійки в чорновій і чистовій групах стана встановлюється ширше номінальної ширини смуг на 70 мм.

При виході із чорнових клітей розкат проходить під струменями води високого тиску, які видаляють окалину з його поверхні, потім відбувається змотування розкату на проміжну моталку: після розмотування його передній і задній кінець обрізається на летучих ножицях, установлених перед чистовим окалиноломачем. Після цього розкат проходить через чистовий окалиноломач і інші кліті.

Обтиснення, що допускає, у клітях чистової групи зазначено в таблиці № 1.3.

Таблиця 1.3 – Допустиме обтиснення у клітях чистової групи.

| № Кліті | Максимальні обтиснення при прокатці вуглецевої і низьковуглецевої сталей, % | |
|---|---|---|
| | До 1200 | Від 1200 до 1500 |
| 5,6 | 50 | 45 |
| 7,8 | 40 | 35 |
| 9 | 25 | 25 |
| 10 | 15 | 15 |

Товщина підкату перед чистовою групою і температура металу за 10-й кліттю повинні лежати у відповідним їм межах. Щоб уникнути застрявання в лінії стана не допускаються в прокатку на чистовій групі розкати з розшаруваннями в торці, тріщинами та іншими грубими дефектами, які можуть викликати аварійну зупинку стана.

Обтиснення в останній кліті чистової групи повинне бути в межах 5 - 15 % і встановлюється в кожному конкретному випадку з таким розрахунком, щоб передній кінець смуги, що виходить із кліті №10, був підігнутий до верху на 50-100 мм. З метою зниження енергосилових параметрів прокатки, зменшення застрявання смуг на гарячому рольгангу і у моталках прокатку нержавіючих сталей доцільно робити при швидкості 10-й кліті 410-440 м/хв.

Після кожної перебудови стана, а також прокатки нової плавки перевіряється фактична товщина перших прокачаних смуг і при необхідності виробляється підстроювання (Таблиця №1.4).

Таблиця 1.4 – Допустиме відхилення від номіналу по задньому кінці смуги за показниками рентгенівського товщиноміра.

| Товщина смуги. мм | Відхилення, що допускають, залежно від ширини, мм | |
|---|---|---|
| | До 1000 | Понад 1000 |
| Від 3,0 до 3,9 | +0,05 +0,10 | +0,05 +0,10 |
| Понад 3,9 до 5,0 | -0,05 0,00 | -0,10 -0,05 |
| Понад 5,0 до 6,0 | -0,10 -0,05 | -0,15 -0,10 |

Забезпечення заданого температурного режиму прокатки досягається шляхом зміни товщини підкату і швидкості прокатки в клітях чистової групи в межах припустимих навантажень на двигуни клітей (Таблиця №1.5).

Для видалення окалини при прокатці стали 08Ю гідрозбиви включається тільки за або перед кліттю Дуо.

Тиск води в насоса при одночасній роботі всіх колекторів повинне бути не менш 80 атм. Для безперебійного якісного збива окалини обов'язково включаються два насоси.

Для здуву з поверхні смуги металевої крихти (від крайок, полон) і інших сторонніх часток, повинні включатися повітряні сопла, установлені перед клітями № 5-10.

Таблиця 1.5 – Припустимі навантаження на двигуни клітей стана.

| № кліті | Тип двигуна | Номінальна потужність, кВт | Номінальний струм, А | Короткочасове припустиме навантаження потужності, кВт | Допустиме навантаження струму, А |
|---|---|---|---|---|---|
| ДУО | ДСЗ-1810-12 | 1840 | 207 | 2600 | 310 |
| 1 | ДСЗ-1913-14 | 5400 | 675 | 7500 | 1000 |
| 2 | ДСЗ-1913-12 | 3700 | 415 | 6800 | 625 |
| 3 | ДСЗ-1913-12 | 3700 | 415 | 6500 | 625 |
| 4 | ДСЗ-1913-12 | 3700 | 415 | 6200 | 625 |
| 5-10 | МП- 6800-340 | 5000/4200 | 7050/6000 | | 12000 |

У процесі прокатки необхідно регулярно перевіряти стан поверхні робочих валків, не допускаючи їхній виробітку, викрашування і утворення наварів.

Тривалість роботи двигунів клітей чистової групи при найбільшому припустимому навантаженні обмежується з умови запобігання їхнього перегріву. При подачі звукового сигналу про неприпустиме нагрівання двигунів темп прокатки повинен бути знижений.

*Змотування штаб у рулони*

Гарячекатані смуги товщиною 3,0...5,2 мм, призначені для виробництва гарячекатаного листа, а також підкату на холоднокатаний лист і рулони, змотуються в рулони на свертних машинах №1-3 без затримки на рольгангу, що відводить.

Швидкість обертання роликів свертних машин і швидкість рольганга повинна бути вище окружної швидкості валків 10-й кліті на 10-20 м/хв.

Перед змотуванням штаб у рулони тиск стисненого повітря в повітрозбірниках свертних машин підвищується до 4,0-5,0 атм.

Для забезпечення рівного змотування рулонів, без телескопічності, прокатані смуги не повинні мати серповидності. Для забезпечення щільної змотування обов'язкова витримка рулонів у звертних машинах до розведення формуючих роликів менш 1,5 хв.

*Поріз гарячекатаних штаб*

Смуги, призначені для порізу на гарячекатаний лист у підкат для подальшої холодної прокатки в лінії безперервного тонколистового стана, передаються шлеперами з гарячого рольганга на ліві і правий рольганги, що відводять. Щоб уникнути травмування смуги захвати шлепером повинні бути виставлені в одну лінію, всі ланцюги натягнуті на зірочки.

Поріз смуг, залежно від марки стали, товщини і температури, виробляється на летучі або гільйотинних ножицях.

При прокатці смуг, що вимагають дотримання строгого температурного інтервалу порізу, темп прокатки необхідно знизити таким чином, щоб забезпечити поріз кожної смуги без затримок на рольгангах і холодильнику.

*Обробка гарячекатаних листів*

Обробка гарячекатаних листів нержавіючої сталі аустенітного класу виробляється по наступній технологічній схемі:

- гартування, відбір проб і випробування;
- травлення і мийка;
- виправлення в дресировочній кліті і правильній машині;
- обрізка крайок (при необхідності);
- при наявності задовільних результатів випробувань

відбувається остаточне сортування;

- упакування.

Агрегат гартування гарячекатаних листів включає:

- головну частину, призначену для завдання в термічну піч листів, вирізаних з рулонів безпосередньо в лінії гартівного агрегату ;
- нагрівальну піч;
- камеру охолодження;
- 17-роликову правильну машину для виправлення листа після гартування;
- пакетуючий пристрій.

Камера охолодження розташована за камерою нагрівання, служить для швидкого охолодження листів нержавіючої сталі водою, що подається на лист зверху і знизу через сопла.

Після охолодження загартовані листи надходять у роликову правильну машину, що робить виправлення листів. Виправлений лист із правильної машини подається в пакетуючий пристрій.

## 1.2 Склад і характеристика стану гарячої прокатки тонкого листа 1680

Безперервний тонколистовий стан складається із двох груп – чорновий і чистовий. До складу чорнової групи входять: одна двохвалкова кліть, чотири чотирьохвалкових (№ 1, 2, 3, 4) і три вертикальних (№ 1,2,3) кліті. До складу чистової групи входять: одна двохвалкова кліть і шість чотирьохвалкових клітей (№ 5, 6, 7, 8, 9, 10).

Основним робочим органом прокатного стана є валки, що обертаються в підшипниках, установлених у робочих клітях. Привод валків здійснюється електродвигуном через проміжні передавальні механізми і пристрої.

Устаткування, призначене для обертання валків, а також для сприйняття виникаючих при пластичній деформації (обтисненні) металу зусиль і крутних моментів, становить робочу лінію кліті.

Устаткування, що входить у робочу лінію, можна розділити на три основні групи: робочу кліть, передавальні механізми, головний

електродвигун. Робоча кліть являє собою дві масивні сталеві литі станини, установлені на плити, прикріплені до фундаменту анкерними болтами. У станинах змонтовані подушки з підшипниками і валками, а також пристрою для переміщення верхнього валка по висоті і його осьовій фіксації, що направляють проводки для металу й т.д.

Система противигину робочих валків клітей № 8-10.

Система противигину робочих валків клітей № 8-10 призначена для регулювання форми і профілю гарячекатаних штаб шляхом оперативної зміни активної утворюючих валків і складається з 4-х гідростанцій з насосами, гідродомкратів, трубопроводів і іншого устаткування. Зусилля противигину в кожній кліті створюється 4-ма гідродомкратами, установленими в нижніх подушках робочих валків.

Тип насоса .....32/320УХЛ4

Діапазон зміни вихідного тиску робочої рідини, кг/см$^2$ ……...від 0 до 100

Швидкість зміни тиску, кгс/см$^2$ ……300

Режим роботи…….безперервний

Робоча рідина .....…..масло індустріальне 12 (20)

Діаметр гідродомкратів, мм..... .....120

Робочий хід плунжера, мм..... 30

Таблиця 1.6 – Характеристика вертикальних клітей.

| № кліті | Діаметр валка, мм | Потужність двигуна, кВт | Тип двигуна | Швидкість обертання вала двигуна, об/хв | Відносне обтиснення % | Передаточне число редуктора | Швидкість обертання валків, об/хв | Швидкість прокатки м/с |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | від 780 до 810 | 200 | МП-6-275 | від 400 до 800 | 1,5 | 37,5 | від 10,7 до 21 ,4 | від 0,428 до 0,008 |
| 2 | від 780 до 810 | 200 | МП-8-275 | від 400 до 800 | 1 | 24,3 | від 18,45 до 33 | від 0,857 до 1,4 |
| 3 | від 570 до 810 | 200 | МП-8-275 | від 400 до 800 | від 0,5 до 0,75 | 15,3 | від 28,15 до 52,3 | від 0,781 до 1,872 |

Таблиця 1.7 – Характеристика робочих клітей

| № Кліті | Передаточне число редуктора. | Потужність приводного двигуна, кВт | Тип двигуна | Швидкість обертання вала двигуна, об/хв | Швидкість обертання валка, про/хв. | Швидкість прокатки, м/с. | Відстань між клітями, м | Натискний пристрій | | | Станина | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Потужність мотора, квт. | Швидкість обертання об/хв | тип | Мат |
| ДУО | 23,99 | 2000 | МШС-2000-450-43 | 500 | 21 | 0,99 | 6,25 | 2 | 9 | 900 | Закрита | Ст. літ. |
| 1 | 19,26 | 5400 | ДС 3-199-16-14 | 428 | 22,2 | від 1,02 до 1,09 | 21 | 1 | 50 | 875 | -//- | -//- |
| 2 | 19,58 | 3700 | ДС 3-1913-12 | 500 | 25,5 | від 1,05 до 1,13 | 19,1 | 2 | 34 | 580 | -//- | -//- |
| 3 | 10,15 | 3700 | ДС 3-1913-12 | 500 | 49,2 | від 1,5 до 1,57 | 25,44 | 2 | 35 | 830 | -//- | -//- |
| 4 | 7,36 | 3700 | ДС 3-1913-12 | 500 | 68 | від 2,08 до 2Д7 | 58,77 | 2 | 35 | 830 | -//- | -//- |
| 5 | 7,24 | 4000/5000 | МП-6800-340 | 270/500 | від 37,4 до 69 | від 1,16 до 2,2 | 5,84 | 2 | 46 | 625 | -//- | -//- |
| 6 | 4,67 | 4000/5000 | - // - | 270/500 | від 57,8 до 107 | від 1,89 до 3,42 | 5,84 | 2 | 46 | 625 | -//- | -//- |
| 7 | 2,75 | 4000/5000 | - // - | 270/500 | від 98,2 до 182 | від 3,3 до 5,78 | 5,84 | 2 | 46 | 625 | -//- | -//- |
| 8 | 2 | 4000/5000 | - // -- | 270/500 | від 135 до 250 | від 4,16 до 7,93 | 5,84 | 2 | 46 | 625 | -//- | -//- |
| 9 | 1,56 | 4000/5000 | - // - | 270/500 | від 173 до 320 | від 5,35 до 10,14 | 5,84 | 2 | 46 | 625 | -//- | -//- |
| 10 | 1,41 | 4000/5000 | -- // -- | 270/500 | від 191 до 354 | від 5,9 до 11,25 | 5,84 | 2 | 46 | 625 | -//- | -//- |
| ДУО | 19,55 | 3,65 | МП-б-500 | від 250 до 750 | від 12,9 до 38,6 | від 0,396 до 1,23 | 6,19 | 2 | 8 | 1250 | -//- | -//- |

Таблиця 1.8 – Характеристика валків стану

| № кліті | Тип валків | Матеріал валків | Діаметр бочки, мм | | Довжина бочки, мм. | Довжина хитка, мм. | Діаметр шийки, мм. | Діаметр треора, мм. | Вага валка початковий, тонн. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | кінцевий | | | | | |
| ДУО | Робочий | Кута сталь 50ХН | 900 | 810 | 1680 | 4240 | 620 | 380 | 13,2 |
| 1 | Робочий | Кута сталь 9ХФ | 940 | 880 | 2440 | 4800 | 660 | 580 | 19Д |
| 1 | Опорні | Кута сталь 9ХФ | 1320 | 1245 | 2440 | 5060 | 750 | 580 | 38,2 |
| 2 | Робочий | Кута сталь 9ХФ | 850 | 780 | 1680 | 4070 | 480 | 440 | 9,65 |
| 2-10 | Опорні | Кута сталь 9ХФ | 1240 | 1170 | 1680 | 4320 | 650 | 440 | 22,7 |
| 5,7 | Робочий | Чавун вибілений ЛПХН-63 | 620 | 580 | 1680 | 3730 | 396 | 360 | 5,62 |
| 3,4 | Робочий | Чавун вибілений ЛПХН-63 | 593 | 580 | 1680 | 3730 | 396 | 360 | 5,62 |
| 8-10 | Робочий | Чавун вибілений ЛПХН-63 | 620 | 580 | 1680 | 3730 | 396 | 360 | 5,62 |
| Вертикальна, 1 і 2 | Робочий | Куті ст. 50,55. | 810 | 760 | | | | | 1,2 |
| Вертикальна, 3 | Робочий | Куті ст. 50,55 | 610 | 570 | | | | | 0,5 |

*Робочі кліті*

Робоча кліть є основним пристроєм прокатного стану, тому що в ній здійснюється прокатка металу. Робоча кліть прокатного стана складається з наступних основних вузлів і деталей: двох станин, установлених на плитовинах, закріплених на фундаменті, валків з подушками і підшипниками, механізмів для установки і зрівноважування валків, валкових арматур (проводок, пристроїв для охолодження або нагрівання).

Чорнова група складається з: однієї двохвалкової кліті – чорнового окалиноломателя, чотирьох чотирьохвалкових клітей (№1-4) і трьох вертикальних клітей. Чистова група складається з: однієї двохвалкової кліті - чистового окалиноломача і семи чотирьохвалкових клітей (№5-11).

Для обертання валків застосовують електродвигуни потужністю 4000/5000 кВт, які передають обертові рухи через редуктор і шестеренну кліть.

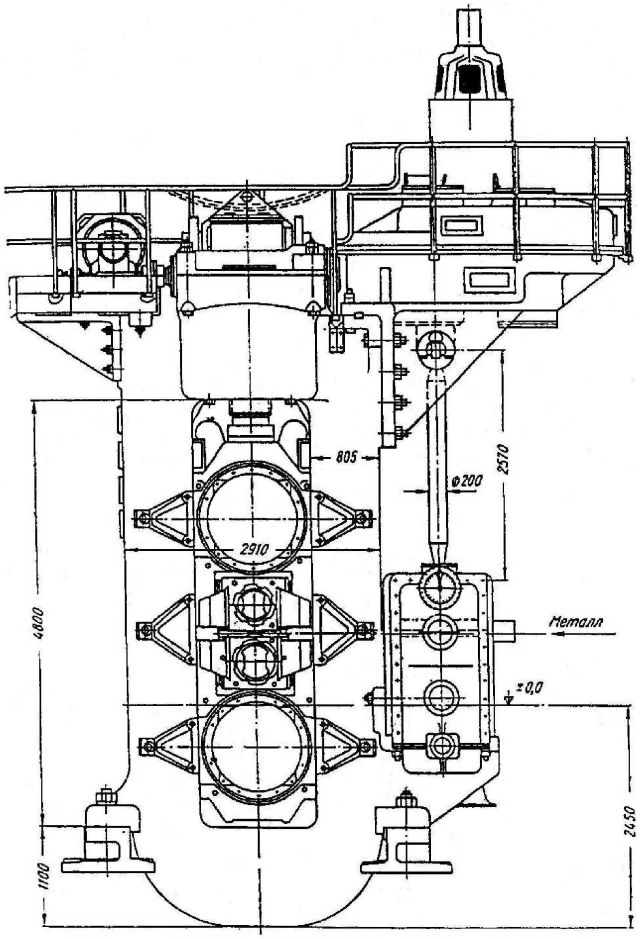



Рисунок 1.2 – Чистова чотирьохвалкова кліть

*Валки стану гарячої прокатки 1680*

Робітники валки клітей 3-10 виготовляють із легованого чавуну з вибіленою поверхнею (ЛП, МШ, нікельмагнієві, двохшарові ЛПХНg) із твердістю 60-85 HSD. Товщина вибіленого поверхневого шару 10...20 мм. Валки мають високу зносостійкість і забезпечують необхідна якість поверхні штаб. Опорні валки відливають із вуглецевої або легованої сталей 50ХН, 60ХН, 9ХМФ. Опорні валки цельноковані із твердістю загартованої поверхні до 45-80 HSD.

Для забезпечення якісного профілю штаби виробника обов'язкова перевалка робочих і опорних валків клітей стана, а прокатка виробляється строго по ширині. Після перевалки прокатують більш широкі штаби, а потім ширина штаб поступово зменшується. Для одержання штаб з мінімальної різнотовщиністю по ширині робочи валки мають опукле профілювання. У міру виробітку опорних валків опуклість робочих валків збільшується.

*Коротка технічна характеристика допоміжного устаткування БТСГП 1680*

До складу допоміжного устаткування входять :

- лівий і правий рольганги зі шлеперним пристроєм;
- летучі ножиці із приданим устаткуванням для порізу гарячекатаних штаб на листи, ножиці з нижнім різом;
- машини, що згортають, №1, 2, 3, душирующа установка;
- моталки №1, 2 , 3 з кантувачами рулонів, прийомними візками, приймачами рулонів, конвеєром і крокуючою балкою до них ;
- моталки №4, 5,6 з кантувачем рулонів до них;
- конвеєра, що відводить;
- підйомно-поворотних столів;
- вагового рольганга з електронно-тензометричної системи зважування рулонів і прийомного рольганга.

Летучі ножиці 25х1700 мм для обрізки переднього кінця гарячекатаної смуги (розкату) перед чистовою групою.

Характеристика ножиців :

Тип ножиців ..... ……Важільні

Перетин розрізу штаби, мм .....….(18-25)х(600 -1550)

Температура розрізу штаби, що, град, не менш .....…900

Питомий опір матеріалу, що ріже, кг/мм$^2$…… 8

Перекриття ножів, мм……...…2,70

Окружна швидкість ножів, м/с ..... ….від 0,46 до 1,38

Ухил верхнього ножа.....…1:62

Число обертів барабана, об/хв ..... …від 17,2 до 51,6

Потужність двигуна, квт .....…...300

Число обертів двигуна, об/хв..... ...750

Кількість пружин-притисків, шт ..... …..5

Робоче навантаження на пружину, кг .....…...3730

Летучі ножиці 28х1550 мм для обрізки переднього і заднього кінців гарячекатаної штаби (розкату) перед чистовою групою. Характеристика ножиців :

Тип ножиців ..... ……..летучі

Перетин розрізу штаби, мм ..... ……..(18-28 )х( 800-И 550)

Температура розрізу штаби, град, не менш .....…….900

Питомий опір матеріалу, що ріже, кг/мм$^2$ ……..11,5

Довжина ножів, мм .....…….1700

Перекриття ножів максимальне, мм ..... …….78,9

Перекриття ножів мінімальне, мм ..... …….9,8

Максимальний зазор між ріжучими крайками ножів, мм…….0,75

Зусилля різання максимальне, тс .....…….170

Максимальний момент різання, тсхм ..... ……60

Величина кінців розкату, що відрізають, ..... …мм від 100 до 300

Кут початку різання, град/хв ..... …….25х7

Кут кінця різання, градхмин ..... ……7х30

Кут різання, градхмин .....……17х37

Число обертів барабана, об/хв ..... …….від 12,21 до 27,4

Потужність двигуна, квт .....…….1000

Число обертів двигуна, об/хв ..... ……160

Максимальна швидкість руху розкату при порізі, м/с.....2,20

Характеристика роликів, що подають, ножиців ……28х1550 мм :

Призначені для подачі гарячекатаної штаби в летучі ножиці.

Діаметр бочки роликів, мм.....……...350

Довжина бочки роликів, мм.....……1700

Зусилля притиснення верхнього ролика, кгс..... ……...9600

Швидкість руху смуги, м/с ..... ……від 0,67 до 2,20

Потужність двигуна, кВт ..... ……...35

Число обертів двигуна, об/хв ..... ……270

Летучі ножиці лівого і правого рольгангів

Летучі ножиці призначені для різання штаб товщиною від 2 до 6 мм і шириною від 850 до 1500 мм на листи довжиною від 1500 до 6000 мм. Летучі ножиці складаються з наступних основних механізмів і доданих до них агрегатів :

1) диференціального редуктора - для регулювання швидкості обертання супортів (довжини листа, що відрізає,);

2) колінчасто-важільного механізму - для установки ножів на одинарний або подвійний рез;

3) привода кривошипа - для зміни кутової швидкості в момент порізу смуги, руху супорта ножиців;

4) механізму запору повзуна кривошипа - для фіксації повзуна в певнім положенні;

5) головного привода й мотора до нього;

6) роликів, що подають, - для подачі смуги до летучих ножиців з рівномірною швидкістю;

7) рольганга перед летучими ножицями - для транспортування до них смуги;

8) рольганга перед правильною машиною - для транспортування до неї відрізаних листів;

9) правильної машини – для виправлення відрізаних листів;

10) пульта керування з апаратурами.

Основні технічні характеристики летучих ножиців:

Тиск, що допускає, на ножі,..... кг 106594

Уклон ножів ..... 1:263

Зазор між ножами, мм ..... 0,125

Максимальне перекриття ножів, мм.....6

Швидкість подачі (порізу) смуги, м/хв ..... від 55,5 до 111,0

Число резов у хвилину (при середній швидкості подачі 92 м/хв і довжині аркуша 1525 мм) …….60

Діаметр роликів, що подають, ..... мм 221,05

Ексцентриситет ротора, мм.....245

Максимальний хід рами подвійних резов, мм ..... 255

Максимальне переміщення повзуна кривошипа, мм..... 150

Головний привод:

Тип.....СД-1898

Привод перемикання режиму лівих ножиців:

Тип..... ..КПД 55/1003

Привод перемикання режиму правих ножиців:

Тип...…….....МП-402

Привод повзуна лівих ножиців.

Тип.....КПД 50/1003

Привод повзуна правих ножиців:

Тип..... СО-1825

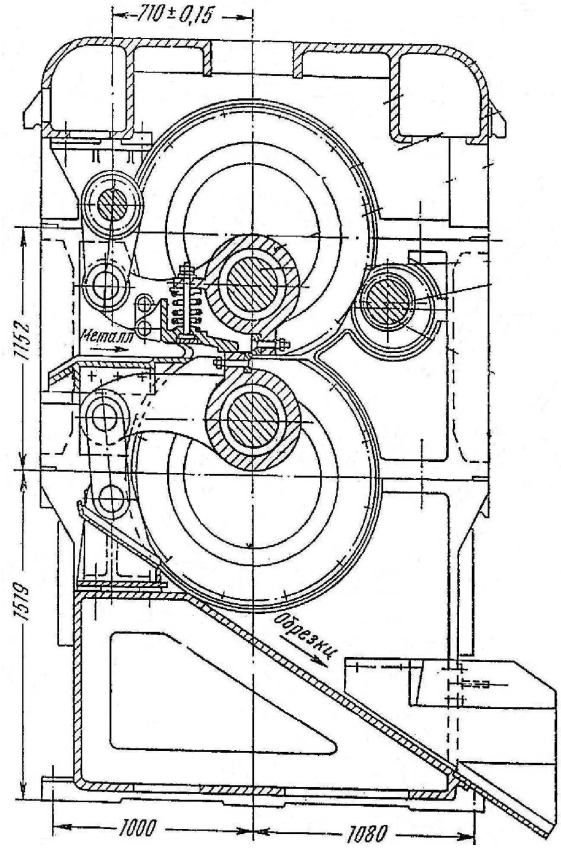



Рисунок 1.3 – Ричажнокривошипні летучі ножиці 281700 для різання гарячої штаби

Привод замикаючого пристрою лівих ножиців:

Тип ..... КПД 30/1003

Привод замикаючого пристрою правих ножиців:

Тип .....МД-402

Диференціальний редуктор летучих ножиців складається з набору зубчастих коліс і важелів, при перемиканні яких змінюється довжина аркуша, що відрізає. При перестановці важелів на один розподіл довжина аркуша, що відрізає, при резе за кожний оберт барабана змінюється:

- для важеля, розташованого в нижній частині коробки диференціального редуктора - на 300 мм (у діапазоні довжини аркуша від 1500 до 3000 мм);

- для правого важеля - на 50 мм (у діапазоні від 0 до 300 мм);

- для лівого важеля - на 5 мм (у діапазоні від 0 до 50 мм).

Аркуші довжиною від 1500 до 3000 мм відрізаються за кожний оберт барабана. Аркуші довжиною від 3000 до 6000 мм відрізаються через один оберт барабана. При переході на порезку через один оберт барабана довжина аркуша (установлена за допомогою важелів) збільшується вдвічі.

Змащення летучих ножиців виробляється під тиском за допомогою насоса, що включає з поста керування ножицями і маючого на пульті свою контрольну (червону) лампочку. Окремі крапки змазуються густим мастилом (частина - централізовано, частина - у ручну).

Складальна кишеня

Складальна кишеня збирає в пачки аркуші довжиною від 1500 до 6000 мм шириною від 710 до 1580 мм. Не допускається укладання в одну пачку аркушів зі смуг різних плавок. Вага пачки аркушів з однієї плавки повинен бути не більше 12 тонн.

Кількість складальних кишень, шт .....2

Ємність складальної кишені, т..... 45

Швидкість піднімального укладальника (пайлера), м/хв ..... 1,950

Швидкість пересування напрямних, м/хв..... 0,395

Розкриття лінійок, мм..... від 560 до 1580

Ножиці з нижнім резом 10 х1700 мм.

Призначені для різання гарячекатаної штаби за чистовою групою клітей прокатного встаткування й мають наступні достоїнства:

1) Різання відбувається при ході нагору нижнього ножа, при цьому розріже метал, що, піднімає нижнім повзуном над рольгангом і ролики рольганга не випробовують ніяких зусиль при різанні.

2) Притиск утрудняє скривлення металу при різанні й сприяє одержанню рівного торцевого перетину.

3) Зусилля різання й бічних зусиль, що розпирають, сприймаються тільки механізмом різання (шатунами й повзунами) і на станину й на фундамент не передаються.

Головний привод ножиців:

Тип .....МТБ 731-10

Потужність, квт.....160

Число обертів, об/хв .....587

Зусилля різання, т..... 160

Товщина аркуша, що розріже, максимальна, .....мм 10,2

Ширина аркуша, що розріже, максимальна, ..... мм 1520

Межа міцності аркуша, що розріже, кг/мм$^2$ не більше ……..65

Довжина крайки ріжучих ножів, мм.....1700

Хід нижнього ножа, мм..... 160

Число резов у хвилину ..... 12

Машини що згортають, №1, 2, 3.

Швидкість змотування смуги дорівнює швидкості смуги, що виходить із 10-й кліті.

Привод роликів - індивідуальний, від моторів СВ-405 (176/440, 4/10 л.с.,210/528 об/хв). Прийомна частина моталок складається із двох роликів, що подають, діаметром 355 мм і довжиною 1830 мм. Штовхач рулонів - пневматичний. Діаметр циліндра сталкивателя - 305 мм, тиск повітря в пневмосистеме - 4 атм.

Тип..... Роликові

Кількість роликів, шт ..... 6

Довжина роликів, мм .....2280

Матеріал роликів ..... ....Спецсталь

Максимальна ширина штаби, мм.....1524

Діаметр рулонів, мм.....від 752 до 1194

Душуюча установка.

Душуюча установка призначена для прискореного охолодження смуг до передбачених температур. Тип охолодження ламінарне. При цьому вода з ванн верхніх секцій подається на смугу по типі «водяної завіси», а з ванн нижніх секцій - подається по типі «водяного стовпа». Подача води на ванни

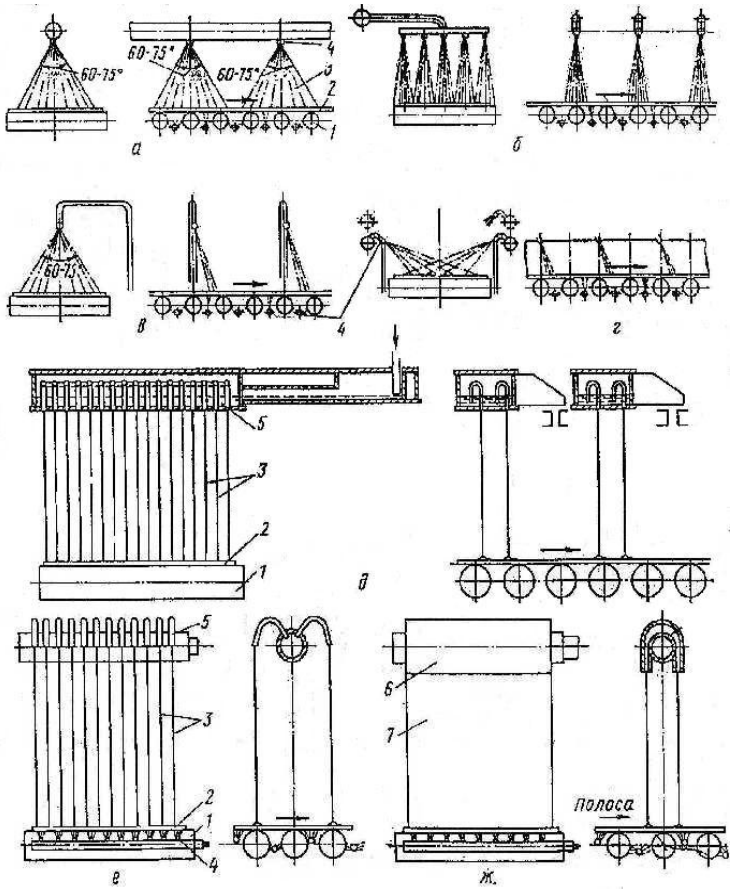
здійснюється триходовими відсічними клапанами, які управляються повітрям від пневмосистеми. Регулювання витрати води на ваннах верхньої системи грубого охолодження виробляється спарено (на секцію), а на ванни верхньої системи тонкого охолодження й нижні ванни -індивідуально.

Кількість секцій верхнього охолодження, шт .....11

Кількість секцій грубого охолодження, шт .....9

Кількість секцій тонкого охолодження, шт .....2

Максимальна витрата води на душирующу установку,м$^3$/г. 3000




а-в - верхній і нижній зі струєвою подачею води; г - бічний і нижній зі струєвою подачею води; д - верхній з ламінарної (інерційної) і нижній зі струєвою подачею води; е-ж - те ж верхній з ламінарної (безінерційної) подачею води; 1 - рольганг; 2 - охолоджувана смуга; 3 - окремі струмені води; 4 - сопла; 5 - сифонні трубки; 6 - сифонна камера; 7 - суцільний струмінь води (по ширині смуги)

Рисунок 1.4 – Схеми способів прискореного охолодження смуг на станах гарячої прокатки

Моталки № 1,2, 3.

Моталки використаються для змотування прокатного металу в рулони й здійснюється формуючими роликами, щільно притиснутими до смуги на барабані моталки, але без натягу смуги барабаном моталки.

Коротка характеристика:

Тип..... Ролико-барабані

Товщина смуг легованих марок, що змотують, сталей,

мм..... від 2,0 до 4,0

Ширина смуг, що змотують,.....мм ...від 720 до 1550

Максимальна вага рулону, кг..... 15000

Зовнішній максимальний діаметр рулону, мм ..... 1600

Зовнішній мінімальний діаметр рулону, мм.....900

Температура змотування смуг товщиною від 1,7 до 7,0 мм,град 800

Швидкість змотування смуг, м/с ..... від 6 до15

Заправна швидкість, м/с .....до 10

Діаметр барабана, мм .....750

Довжина барабана, мм .....2150

Тип привода барабана.....П2-800-175-8

Діаметр формуючих роликів,мм.....320

Довжина бочки формуючих роликів, мм.....1700

Тип привода формуючих роликів.....Д806

Кількість формуючих роликів, шт .....4

Діаметр тягнучого верхнього ролика, мм.....900

Діаметр тягнучого нижнього ролика, мм .....400

Довжина бочки тягнучих роликів, мм.....1700

Тип привода верхнього тягнучого ролика .....П2-500-141-5

Тип привода нижнього тягнучого ролика……...П2-400-124-5

Кантувач рулонів моталок №1,2, 3.

Кантувач рулонів гарячої штаби в моталок №1, 2, 3 служить для

кантування рулонів, що зіштовхують із барабана в горизонтальному положенні.

Коротка характеристика:

Кількість, шт.....3

Максимальна вага рулону, кг.....15000

Висота рулону, мм.....1530

Діаметр рулону, мм.....1650

Час кантування з рулоном, с.....7

Час кантування без рулону, с.....3

Час повернення у вихідне положення, с.....10

Привод кантувача:

Тип.....гідравлічний

Кількість циліндрів, шт.....2

Діаметр циліндра, мм.....320

Діаметр штока циліндра, мм.....160

Хід поршня, мм.....710

Тиск у системі МПа (кгс/см$^2$).....10 (100)

Прийомний візок моталок №1, 2, 3.

Призначена для прийому рулонів від моталок і подальшої передачі їх для транспортування. Коротка характеристика:

Максимальна вага рулону, кг.....15000

Час підйому, с.....3

Час опускання, с.....3

Привод приймача:

Тип.....гідравлічний

Кількість циліндрів, шт.....2

Діаметр циліндра, мм.....200

Діаметр штока циліндра, мм.....100

Хід поршня, мм.....400

Хід платформи, мм.....800

Тиск у системі, МПа (кгс/см$^2$).....10 (100)

Конвеєр №2 (від моталок №1,2, 3).

Призначений для транспортування гарячекатаних рулонів від моталок № 1, 2, 3 до приймача рулонів. Коротка характеристика:

Кількість ланцюгів, шт ..... 2

Режим роботи..... кроковий

Довжина кроку, мм.....3100

Кут нахилу конвеєра ..... 1 ° 5' 40"

Відстань між зірочками, мм ..... 21453

Кількість рулонів, шт..... 7

Швидкість переміщення, м/с .....від 0,2 до 0,4

Тип привода конвеєра ..... ДС 812

Крокуюча балка

Є складовою частиною транспортуючого конвеєра.

Коротка характеристика:

Довжина балки, мм..... 8416

Ширина нерухомих балок, мм.....2х1018

Ширина рухливої балки, мм ..... 500

Кількість рулонів на балці, шт.....4

Максимальна вага рулону, кг.....15000

Висота підйому балки, мм.....250

Швидкість переміщення, м/с ..... 0,4

Час циклу, с.....25

Привод балки:

Тип .....гідравлічний

Кількість циліндрів, шт .....2

Діаметр циліндра переміщення, мм..... 140

Діаметр циліндра підйому, мм .....255

Діаметр штока переміщення, мм ..... 60

Діаметр штока підйому, мм ..... 130

Хід штока переміщення, мм..... 1704

Хід штока підйому, мм ..... 775

Тиск у системі МПа (кгс/см$^2$).....10(100)

Приймач рулонів конвеєра №1.

Призначений для прийому рулонів від конвеєра №1 і передачі для подальшого транспортування. Коротка характеристика:

Максимальна вага рулону, кг..... 15000

Максимальний зовнішній діаметр, мм.....1650

Максимальна висота, мм..... 1530

Час підйому, с.....3

Час опускання, с.....3

Привод приймача:

Тип..... гідравлічний

Кількість циліндрів, шт ..... 2

Діаметр циліндра, мм..... 140

Діаметр штока, мм..... 80

Хід штока, мм ..... 530

Хід платформи, мм..... 530

Тиск у системі МПа (кгс/см$^2$)..... 10 (100)

Моталки № 4, 5, 6.

Моталки використаються для змотування прокатного металу в рулони і здійснюється формуючими роликами, щільно притиснутими до смузі на барабані моталки, але без натягу смуги барабаном моталки.

Призначені для змотування гарячекатаних смуг у рулони, призначені для порізу на листи в агрегаті поперечного різання з обов'язковим виправленням смуги в кліті та правильних машинах.

Тип..... ролико-барабані

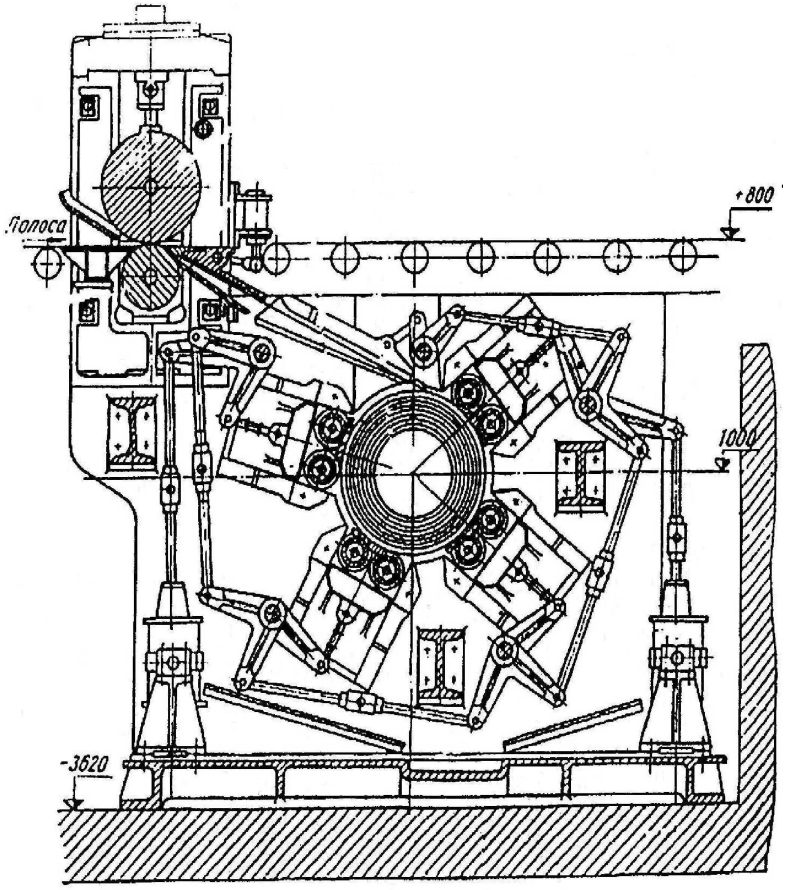



Рисунок 1.5 – Моталка для змотування гарячої штаби

Товщина смуги, що змотується, мм .....від 1,8 до 6,0

Ширина смуги, що змотується, мм.....від 600 до 1500

Максимальна вага рулону, кг.....7500

Максимальний зовнішній діаметр, мм .....1200

Мінімальний зовнішній діаметр, мм ..... 900

Тип привода тягнучих роликів .....МП-72

Тип привода барабана.....МП-82

Тип привода формуючих роликів..... МП-42

Кантувач рулонів моталок № 4, 5, 6

Кантувач рулонів гарячої смуги в моталок № 4, 5, 6 служить для кантування рулонів, що зіштовхують із барабана в горизонтальному положенні.

Коротка характеристика:

Максимальна вага рулону, кг.....7500

Висота рулону, мм..... від 720 до 1500

Діаметр рулону, мм..... від 1000 до 1300

Ритм збирання рулонів, мм..... 25

Кут кантувача, град..... 88

Час кантування, с.....2,85

Тип привода переміщення.....МП-72

Тип привода кантувача.....МП-46

Конвеєр від моталок до підйомно-поворотного стола №1.

Призначений для передачі гарячекатаних рулонів від моталок до підйомно-поворотного стола №1.

Швидкість руху ланцюгів конвеєра, м/хв ..... від 4,5 до 9,0

Число ланцюгів, шт..... 2

Крок ланцюгів, мм..... 630

Тип привода конвеєра..... МП-72

Підйомно-поворотний стіл № 1.

Підйомно-поворотний стіл для рулонів гарячої смуги встановлений за моталкою № 3 у лінії розгалуження конвеєра, що відводить, для гарячих рулонів, і призначений для підйому, повороту і передачі рулонів на іншу галузь конвеєра, розташовану під кутом $90^{o}$ до конвеєра, що підводить. Положення рулонів вертикальне.

Час повороту стола на 90 град, с ..... 7,5

Вантажопідйомність, т ..... 25

Час підйому стола, с ..... 4,0

Час опускання стола, с ..... 4,0

Хід стола, мм .....550

Конвеєр за підйомно-поворотним столом №1 (Вихідний).

Призначений для транспортування гарячекатаних рулонів від підйомно-поворотного стола до прийомного рольганга конвеєра.

Швидкість руху ланцюгів конвеєра, м/с..... від 3 до 6

Число ланцюгів, шт ..... 2

Крок ланцюгів, мм ..... 630

Тип привода конвеєра.....МП-72

Поворотний рольганг

Діаметр роликів середній, мм ..... 250

Діаметр бочки роликів, мм.....1650

Відстань між лінійками, мм ..... 1800

Тип привода роликів ..... АОФ-42-6

Ваговий рольганг

Призначений для подачі гарячекатаних рулонів на електротензометричну систему зважування рулонів.

Ухил рольганга ..... 3°30"

Кількість роликів, шт ..... 45

Діаметр роликів, мм ..... 150

Крок роликів, мм .....від 200 до 300

Електротензометрична система зважування рулонів

Призначена для автоматичного зважування гарячекатаних рулонів з візуальним відліком ваги по шкалі циферблата і реєстрацією ваги на паперовій стрічці.

Межі зважування, т..... 0,5-20

Погрішність, що допускає, ..... кг +75

Цикл зважування, с..... 20

Прийомний рольганг конвеєра

Призначений для прийому гарячекатаних рулонів від конвеєра та передачі для подальшого транспортування.

Довжина рольганга, мм.....109200

Довжина бочки роликів, мм.....1650

Діаметр бочки роликів, мм.....250

Кількість роликів, шт .....365

Тип привода роликів.....АОФ-42-6

Підйомно-поворотний стіл № 2

Підйомно-поворотний стіл для рулонів гарячої смуги встановлений за моталкою № 6 у лінії розгалуження конвеєра, що відводить, для гарячих рулонів, і призначений для підйому, повороту і передачі рулонів на іншу галузь конвеєра, розташовану під кутом° 90 до конвеєра, що підводить. Положення рулонів вертикальне.

Час повороту стола на 90 град, с .....7

Вантажопідйомність, т .....15

Час підйому стола, с ..... 5

Час опускання стола, с .....5

Хід стола, мм .....570

## 1.3 Розрахунок пропускної здатності агрегатів за хронометражним даними

Розрахунок виробляється для трьох профілів (важкий, середній, легкий):

$2 \times 1000 мм$;

$3 \times 1250 мм$;

$5 \times 1400 мм$.

1. Розрахунок темпу прокатки:

$$T = t_M _ t_n$$

$t_M{}^2 = 59C; \quad t_n = 5C; \qquad T_2 = 59 + 5 = 64C$

$t_M{}^3 = 84C; \quad t_n = 5C; \qquad T_2 = 84 + 5 = 89C$

$t_M{}^5 = 80C; \quad t_n = 5C; \qquad T_2 = 80 + 5 = 85C$

2. Маса рулонів, отриманих при прокатці:

$G^2 = 5{,}9m$

$G^2 = 13{,}0m$

$G^2 = 13{,}8m$

3. Продуктивність стана:

$$A = \frac{3600G}{T};$$

$$A_2 = \frac{3600 \cdot 5{,}9}{64} = 331{,}8m/ч;$$

$$A_3 = \frac{3600 \cdot 13{,}0}{89} = 525{,}8m/ч;$$

$$A_5 = \frac{3600 \cdot 13{,}8}{85} = 584{,}5m/ч.$$

Результати розрахунків заносимо в таб.1.9.

Таблиця 1.9 – Дані з розрахунку пропускної здатності БШПС1680.

| Розміри заготівлі, $H \times B \times L, мм$ | Перетин смуги, $мм$ | $t_M$, $с$ | $t_n$, $с$ | $T$, $с$ | $G$, $Т$ | $A$, $т/ч$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 150×985×4500 | 2×1000 | 59 | 5 | 64 | 5,9 | 331,8 |
| 150×1245×8900 | 3×1250 | 84 | 5 | 89 | 13,0 | 525,8 |
| 140×1405×9000 | 5×1400 | 80 | 5 | 85 | 13,8 | 584,5 |

Середньовозвишена продуктивність стана:

$$A_{ср} = A_1 \cdot a_1 + A_2 \cdot a_2 + A_3 \cdot a_3;$$

де $a_1; a_2; a_3$ - питома вага кожного профілю в сортаменті стана;

$$A_{ср} = 331{,}8 \cdot 0{,}41 + 525{,}8 \cdot 0{,}32 \cdot 584{,}5 \cdot 0{,}21 = 428{,}5m/ч.$$

Річна продуктивність стана:

$$A_г = A \cdot A_{гр};$$

де $A_{гр}$ - число робочих годин у році.

$$A_г = 428{,}5 \cdot 6472{,}2 = 2772366{,}87т.$$

### 1.4 Аналіз «вузьких місць»

БШПС1680 був пущений у роботу в 1937 році і за час роботи протерпів як моральний, так і фізичне зношування. У наслідку прогресу вироблялася часткова, поетапна реконструкція. На даний момент часу відбувається як планування, так і здійснення реконструкції на стані по аналізі «вузьких місць».

Основні «вузькі місця» на стані:

1) Різниця температури між хвостовою і головною частинами розкатів (температурний клин) за кліттю №4, погіршує умови точності прокату.

2) Гідрозбив, що служать для змиву окалини з поверхні металу на даний момент із низьким тиском води, 9-12 МПа, що приводить до поганої якості поверхні смуги і швидкому зношуванню валків.

3) Швидкість прокатки в чистовій групі клітей для стана гарячої прокатки дуже малі, що приводить до малої продуктивності стана.

4) Відсутність САРП смуги між клітями чистової групи приводить до зниження точності прокату і збільшенню навантажень по клітях.

5) Для змотування штаб різних товщини застосовуються моталки, у яких установлений зазор між тягнучими роликами усереднено для смуг різних товщини, що негативно впливає на якість змотування.

# 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Технологія прокатки гарячекатаної смуги 4,0 х 1100 у рулон масою 7,5 т пружинної сталі 60С2 на стані БТЛС 1680. Пружинна сталь 60С2 містить:
С - 0,65%, Cr - 0,3%, Ni - 0,5%, P - 0,05% Si-2%, Mn-0,55%.

## 2.1 Технологія прокатки в чорновій групі

Необхідно зробити розрахунок параметрів сляба й режими деформації при прокатці смуги 4×1100 у рулон масою 7,5 т.

*Розрахунок параметрів сляба*

Приймаємо максимальну товщину підкату для клітей чистової групи:

$$h = 30 \text{ мм};$$

Сумарне висотне обтиснення розподіляємо в співвідношенні 85 і 15% (8,стор.374). Тоді товщину сляба визначаємо з вираження:

$$h_{сл} = \frac{h_k}{1 - E_\Sigma}, \qquad (2.1)$$

де $h_k = 30$ мм – товщина прокату після чорнової групи клітей;

$E_\Sigma = 0,85$ – сумарне відносне обтиснення чорновій групі клітей у частках одиниці.

У такий спосіб:

$$h_{сл} = \frac{30}{1 - 0,85} = 200 мм,$$

ширину сляба приймаємо рівній ширині смуги (8. Стр.366).

$b_{сл}$= 1100мм;

довжину сляба визначаємо по залежності:

$$l_{сл} = \frac{G_{сл}}{\rho \cdot b_{сл} \cdot h_{сл}}; \qquad (2.2)$$

де $G_{СЛ}$, - маса злитка;

р = 7,9 - питома щільність металу;

Масу злитка визначаємо по залежності:

$$G_{сл}=G_{р} \cdot m,$$

де $G_{р}$= 7,5 т – маса рулону;

m = 1,08 - видатковий коефіцієнт [8];

$$G_{сл}=7,5 \cdot 1,08=8,1 \text{ тн.}$$

У такий спосіб:

$$l_{сл} = \frac{8,1}{7,9 \cdot 10^{-2} \cdot 1,1 \cdot 0,2} = 4,6 \quad м.$$

Зі зроблених нами розрахунків видно, що параметри сляба з якого буде прокочуватися задані параметри смуги мають наступні значення:

200-1100-4600 мм.

*Розрахунок режимів обтиснень*

Максимальна товщина підкату для клітей чистової групи h = 19-20 мм.

Сумарне висотне обтиснення складе $\Delta h_{\Sigma}$ = 200 - 4 = 196 мм.

Сумарне обтиснення в чистовій групі складе $\Delta h_{\Sigma}$=196 • 0,15 =29 мм.

Сумарне обтиснення в чорновій групі складе $\Delta h_{\Sigma}$= 196• 0,85=166 мм.

Приймаємо $\Delta h_{\Sigma черн}$ = 170 мм, $\Delta h_{\Sigma чистий}$ = 26 мм.

Коефіцієнт тертя при захвату металу валками визначається по формулі [14].

$$F = 1,05 - 0,0005t - 0,056V, \qquad (2,3)$$

де t - температура розкату в кліті, °С;

V- швидкість прокатки в кліті, м/с

Температурний інтервал прокатки в клітях чорнової групи відповідно до технологічної інструкції [6]:

$$1070 \leq t \leq 1230^{o}C.$$

Температуру розкату в кожній кліті беремо приблизно. Кліть "ДУО" (чорновий окалиноломач):

t = 1200 °С

при $V_{Д}$= 0,99 м/с [6. стр. 85, табл. 47]

$f_{Д}$ = 1,05 - 0,0005 • 1200 - 0,056• 0,99 = 0,394

Кліть №1

t= 1195 °С

при $V_1$ = 1,09м/с

$f_1$ = 1,05 - 0,0005 • 1195 - 0,056 •1,09 = 0,391

Кліть № 2

t= 1170 °С

при $V_2$= 1,13м/с

$T_2$= 1, 05-0,0005 • 1170 -0, 1056• ,13 = 0,401

Кліть №3
t=1155 °С
при$_3$= 1,57м/с
$f_3$ = 1,05 - 0,0005 • 1155 - 0,056 -1,57 = 0,380

Кліть № 4 t= 1140 °С
при V= 2,17 м/с
$f_4$ = 1,05 - 0,0005 • 1140 - 0,056 -2,17 = 0,358
Умова захвата металу валками tg ≤f

де α - кут захвата металу валками в радіанах. Максимальний кут захвата визначимо по формулі:

$$\alpha_{\max} = arctgf; \qquad (2.4)$$

$$\alpha_{\max 0} = arctg\,0{,}394 = 0{,}375 = 21{,}04°;$$
$$\alpha_{\max 1} = arctg\,0{,}391 = 0{,}372 = 21{,}35°$$
$$\alpha_{\max 2} = arctg\,0{,}401 = 0{,}381 = 21{,}85°$$
$$\alpha_{\max 3} = arctg\,0{,}380 = 0{,}363 = 20{,}8°$$
$$\alpha_{\max 4} = arctg\,0{,}355 = 0{,}341 = 19{,}54°$$

Величину максимально припустимих обтиснень по куті захвата визначимо по формулі:

$$\Delta h_{\max} \le \alpha^2 \cdot R_{p_{\min}}; \qquad (2.5)$$

де $R_{pmin}$ - мінімальний робочий радіус валків, мм.

Відповідно до технологічної інструкції [7]:

$$R_{p_{\min 0}} = 810/2 = 405мм$$
$$R_{p_{\min 1}} = 880/2 = 440мм$$
$$R_{p_{\min 2}} = 780/2 = 390мм$$
$$R_{p_{\min 3}} = 580/2 = 290мм$$
$$R_{p_{\min 4}} = 580/2 = 290мм$$

Отже величини максимально припустимих обтиснень по куті захвата будуть наступні:

$$\Delta h_{\max_0} = (0{,}375)^2 \cdot 405 = 56{,}95 мм$$
$$\Delta h_{\max_1} = (0{,}372)^2 \cdot 440 = 60{,}88 мм$$
$$\Delta h_{\max_2} = (0{,}381)^2 \cdot 390 = 56{,}61 мм$$
$$\Delta h_{\max_3} = (0{,}363)^2 \cdot 290 = 38{,}21 мм$$
$$\Delta h_{\max_4} = (0{,}341)^2 \cdot 290 = 33{,}72 мм$$

Розрахункові величини обтиснень по кожнійій із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи [таблиця №1.4] наступні:

$$\Delta h_{p_{\max_0}} = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_0 = 170 \cdot 0{,}25 = 42{,}5 мм$$
$$\Delta h_{p_{\max_1}} = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_1 = 170 \cdot 0{,}37 = 62{,}9 мм$$
$$\Delta h_{p_{\max_2}} = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_2 = 170 \cdot 0{,}4 = 68 мм$$
$$\Delta h_{p_{\max_3}} = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_3 = 170 \cdot 0{,}4 = 68 мм$$
$$\Delta h_{p_{\max_4}} = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_4 = 170 \cdot 0{,}4 = 68 мм$$

Оптимальне обтиснення в чорновому окалиноломаччі 5-20 %. При менших обтисненнях шар окалини погано зламується, а при більших вдавлюється в поверхню сляба.

Нехай приймемо $\mathrm{E}_д = 15\%$

$\Delta h_0 = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_Д = 170 \cdot 0{,}15 = 25{,}5 мм$ приймаємо $\Delta h_0 = 25 мм < \Delta h_{\max_0}$,

нехай приймемо $\mathrm{E}_1 = 33\%$

$\Delta h_1 = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_1 = 170 \cdot 0{,}33 = 56.1 мм$ приймаємо $\Delta h_1 = 56 мм < \Delta h_{\max_1}$,

нехай приймемо $\mathrm{E}_2 = 20\%$

$\Delta h_2 = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_2 = 170 \cdot 0{,}2 = 34 мм$ приймаємо $\Delta h_2 = 34 мм < \Delta h_{\max_2}$,

нехай приймемо $\mathrm{E}_3 = 19\%$

$\Delta h_3 = \Delta h_{\Sigma черн.} \cdot \mathrm{E}_3 = 170 \cdot 0{,}19 = 32{,}3 мм$ приймаємо $\Delta h_3 = 32 мм < \Delta h_{\max 3}$, тоді $\Delta h_4 = \Delta h_{\Sigma черн.} - \Delta h_0 - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 = 170 - 25 - 56 - 34 - 32 = 23 мм$.

Звідси, $\mathrm{E}_4 = \dfrac{\Delta h_4}{\Delta h_{\Sigma черн.}} \cdot 100 = 10\%;$ $\mathrm{E}_4 = 13\%.$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Обтиснення чорнової групи.

| Кліть | Розрахункове обтиснення, мм | Максимально припустиме обтиснення по куті захвата, мм |
|---|---|---|
| ДУО | 25 | 56,95 |
| 1 | 56 | 60,82 |
| 2 | 34 | 56,61 |
| 3 | 32 | 38,21 |
| 4 | 23 | 33,72 |

Відповідно до зробленої модернізації стана чорнову групу ділимо на дві безперервні підгрупи, у першу входять кліті "ДУО" і кліть № 1, у другу - кліті № 2, 3, 4.

З рівності сталості секундного обсягу й з обліком того, що в безперервній групі клітей $b_1h_1 = b_2h_2$ отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження. Тому що оберти "ДУО" підбудовуємо під оберти кліті № 1, спочатку визначаємо швидкість у кліті № 1.

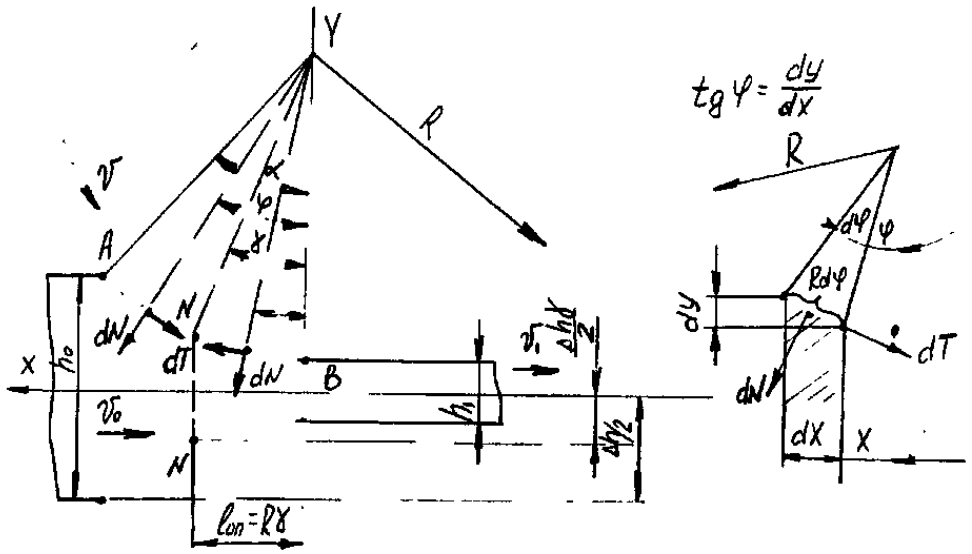



Рисунок 2.1 – Сили, що діють на метал у зоні відставання й у зоні випередження при сталому процесі котки

Швидкість прокатки в кліті №1 буде дорівнює:

$$V_1 = \frac{П \cdot R_1 \cdot n_1}{30}; \qquad (2,6)$$

де R 1-1- радіус робочого валка, м $n_1$ - число обертів валка, об/хв

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 0,440 \cdot 22,2}{30} = 1,02 \qquad м/с$$

$$V_Д = \frac{h_1 \cdot V_1}{h_Д} = \frac{119 \cdot 1,02}{175} = 0,69\, м/с \qquad (2.7)$$

Визначаємо швидкості прокатки для другої безперервної підгрупи чорнової групи клітей.

Тому що ми підбудовуємо оберти під кліть № 2, те спочатку визначаємо швидкість прокатки для другої кліті.

$$V_2 = \frac{П \cdot R_2 \cdot n_2}{30};$$

де $R_2$ –радіус робочого валка, м

$n_2$ – число обертів валка

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 0,39 \cdot 25,5}{30} = 1,04 \qquad м/с$$

$$V_3 = \frac{h_2 \cdot V_2}{h_3} = \frac{1,04 \cdot 85}{53} = 1,66\, м/с$$

$$V_4 = \frac{h_3 \cdot V_3}{h_4} = \frac{1,72 \cdot 53}{30} = 2,94\, м/с$$

Певну в такий спосіб швидкість необхідно скорегувати на величину випередження. Швидкість виходу смуги визначають по формулі:

$$V = V_1(1 + S); \qquad (2.8)$$

де V 1-1- швидкість отримана без обліку випередження, м/с,

S-Випередження.

Відповідно до запропонованого Екелундом формулі [2]:

$$S = \frac{\gamma^2}{2}\left(\frac{d}{h} - 1\right); \qquad (2.9)$$

де d - діаметр валків, м

$\gamma$ - нейтральний кут, радий;

h – товщина смуги на виході з валків, м;

Нейтральний кут визначимо по залежності:

$$Sin\gamma = \frac{Sin\alpha}{2} - \frac{1 - Cos\alpha}{2f}; \qquad (2.10)$$

де f - коефіцієнт тертя, α - кут захвата, радий.

Кут захвата визначається по формулі:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}; \qquad (2.11)$$

де $\Delta h$ - абсолютне обтиснення, мм;

R - радіус валка, мм.

Для першої підгрупи визначаємо швидкість із урахуванням випередження для кліті "ДУО":

$$\alpha_{\partial} = \sqrt{\frac{\Delta h_{\partial}}{R_{\partial}}} = \sqrt{\frac{25}{405}} = 0{,}248\ рад$$

$$Sin\gamma_{\partial} = \frac{\sin 0{,}248}{2} = \frac{1-\cos 0{,}248}{2 \cdot 0{,}394} = 0{,}0021$$

$$\gamma_{\partial} = \arcsin 0{,}0021 = 0{,}12\ рад$$

$$S_{\partial} = \frac{0{,}12^2}{2}\left(\frac{0{,}81}{0{,}175} - 1\right) = 0{,}7\ м/с$$

Швидкість виходу металу з валків з урахуванням випередження:

$$V_{\partial} = 0{,}69(1 + 0{,}026) = 0{,}7\ м/с$$

Для другої підгрупи визначаємо випередження для кліті №3, 4

Кут захвата для клітей № 3, 4:

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}} = \sqrt{\frac{32}{290}} = 0{,}332\ рад$$

$$\alpha_4 = \sqrt{\frac{\Delta h_4}{R_4}} = \sqrt{\frac{21}{290}} = 0{,}269\ рад$$

$$Sin\gamma_3 = \frac{\sin 0{,}332}{2} - \frac{1-\cos 0{,}332}{2 \cdot 0{,}369} = 0{,}0028$$

$$Sin\gamma_4 = \frac{\sin 0{,}269}{2} - \frac{1-\cos 0{,}269}{2 \cdot 0{,}340} = 0{,}0023$$

$$\gamma_3 = 0{,}16$$

$$\gamma_4 = 0{,}13$$

$$S_3 = \frac{0{,}16^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}053} - 1\right) = 0{,}12$$

$$S_4 = \frac{0{,}13^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}03} - 1\right) = 0{,}15$$

$$V_3 = 1{,}66(1 + 0{,}12) = 1{,}85\,м/с$$

$$V_4 = 2{,}94(1 + 0{,}15) = 3{,}38\,м/с$$

Розраховуємо приблизну довжину розкату після виходу з кожної кліті чорнової групи.

Розміри сляба: Н=0,200 м, В=1,100 м, L=4,600 м.

$$V_{сляба} = H \cdot B \cdot L = 0{,}2 \cdot 1{,}1 \cdot 4{,}6 = 1{,}012 м^2$$

$$L_д = \frac{V}{h_д \cdot b} = \frac{1{,}012}{0{,}175 \cdot 1{,}1} = 5{,}25м$$

$$L_1 = \frac{V}{h_1 \cdot b} = \frac{1{,}012}{0{,}119 \cdot 1{,}1} = 7{,}73м$$

$$L_2 = \frac{V}{h_2 \cdot b} = \frac{1{,}012}{0{,}085 \cdot 1{,}1} = 10{,}82м$$

$$L_3 = \frac{V}{h_3 \cdot b} = \frac{1{,}012}{0{,}053 \cdot 1{,}1} = 17{,}35м$$

$$L_4 = \frac{V}{h_4 \cdot b} = \frac{1{,}012}{0{,}03 \cdot 1{,}1} = 30{,}66м$$

*Розрахунок силових параметрів прокатки*

Визначаємо середню товщину підкату:

$$h_{ср} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}; \qquad (2.13)$$

де $h_i$ - товщина підкату на вході в кліть, мм,
$h_{i+1}$ - товщина підкату на виході із кліті, мм

$$h_{cp_0} = \frac{200+175}{2} = 187{,}5мм;$$

$$h_{cp_1} = \frac{175+119}{2} = 147мм;$$

$$h_{cp_2} = \frac{119+85}{2} = 102мм;$$

$$h_{cp_3} = \frac{85+53}{2} = 69мм;$$

$$h_{cp_4} = \frac{53+30}{2} = 41{,}5мм;$$

Довжину дуги захвату згідно[12] визначимо по формулі:

$$l = \sqrt{R\Delta h}; \qquad (2.14)$$

$$l_0 = \sqrt{405 \cdot 25} = 100{,}62мм;$$

$$l_1 = \sqrt{440 \cdot 56} = 156{,}97мм;$$

$$l_2 = \sqrt{390 \cdot 34} = 115{,}15мм;$$

$$l_3 = \sqrt{290 \cdot 32} = 96{,}33мм;$$

$$l_4 = \sqrt{290 \cdot 23} = 81{,}67мм;$$

Визначаємо відношення довжини дуги захвату до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_0}{h_{cp_0}} = \frac{100{,}62}{187{,}5} = 0{,}53$$

$$\frac{l_1}{h_{cp_1}} = \frac{156{,}97}{147} = 1{,}06$$

$$\frac{l_2}{h_{cp_2}} = \frac{115{,}15}{102} = 1{,}12$$

$$\frac{l_3}{h_{cp_3}} = \frac{96{,}33}{69} = 1{,}39$$

$$\frac{l_4}{h_{cp_4}} = \frac{81{,}67}{41{,}5} = 1{,}96$$

Відносне обтиснення по клітях:

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_i} \cdot 100\%; \qquad (2.15)$$

$$E_0 = \frac{25}{200} \cdot 100\% = 12{,}5\%;$$

$$E_1 = \frac{56}{175} \cdot 100\% = 32\%;$$

$$E_2 = \frac{34}{119} \cdot 100\% = 28{,}57\%;$$

$$E_3 = \frac{32}{85} \cdot 100\% = 37{,}64\%;$$

$$E_4 = \frac{23}{53} \cdot 100\% = 43{,}39\%;$$

Згідно даним Целікова [13, стор.631] для визначення середнього контактного тиску використовуються наступні формули:

Для кліті "ДУО" при $l/h_{cp} = 0{,}53$.

$$P_{cp\partial} = 1{,}15\sigma_T \left(1 + \frac{l_\partial}{6h_{cp\partial}}\right)\left(\frac{l_\partial}{h_{cp}}\right)^{0{,}4}; \qquad (2.16)$$

де $\sigma_T$ - границя текучості металу, що прокочується, відповідним реальним умовам обробки.

Згідно [12, стор. 129):

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_E \cdot k_M; \qquad (2.17)$$

де $\sigma_0$ = 114 мПа - базисний опір деформації,

$k_t, k_E, k_M$ - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення $\sigma_0$ й коефіцієнтів $k_t, k_E, k_M$ наведені в літературі [10, стор. 335]

Для сталі 60С2 $\sigma_0$ = 114 МПа

При t =1200 °С $K_t$=0,5

Е= 12,5% $k_E$=1,35

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [12, стор.81]:

$$U_{cp\partial} \frac{V_\partial \cdot \alpha_\partial}{l_\partial}; \qquad (2.18)$$

$$U_{cp\partial} \frac{0,7 \cdot 0,248}{0,10062} = 1,7c^{-1}; \quad k_u = 0,5$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0,5 \cdot 1,35 \cdot 0,5 = 38,47 МПа$$

$$P_{cp\partial} = 1,15 \cdot 38,47\left(1 + \frac{100,62}{6 \cdot 187,5}\right)\left(\frac{10062}{187,5}\right)^{0,4} = 37,57 МПа$$

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі :

$$P = P_{cp} \cdot B \cdot l_\partial; \qquad (2.19)$$

де В - ширина матеріалу, що прокочується, м

$$Р_д = 37,57 - 1,1 \cdot 0,10062 = 4,15 \text{ МН}$$

Для кліті № 1 при $\frac{l_1}{h_{cp1}} = 1{,}06$

$$P_{cp} = 1{,}15\sigma_T\left(1 + \frac{l}{6h_{cp}}\right) \qquad (2.20)$$

При t =1195ºС $k_t$=0,55

E = 32% k =1,38

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{56}{440}} = 0{,}356\,рад$$

$$U_{cp1}\frac{1{,}02 \cdot 0{,}356}{0{,}15697} = 2{,}31c^{-1}; \qquad k_u = 0{,}84$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0{,}55 \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}84 = 71{,}62МПа$$

$$P_{cp1} = 1{,}15 \cdot 71{,}62\left(1 + \frac{156{,}97}{6 \cdot 147}\right) = 67{,}7МПа$$

$$P_1 = 67{,}7 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}15697$$

Для кліті №2 при $\frac{l_2}{h_{cp2}} = 1{,}12$

При t=1170 ºС $k_t$=0,58

E = 28,57% k=1,37

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{34}{390}} = 0{,}295\,рад$$

$$U_{cp_2}\frac{1{,}04 \cdot 0{,}295}{0{,}11515} = 2{,}6c^{-1}; \qquad k_u = 0{,}86$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0{,}58 \cdot 1{,}37 \cdot 0{,}86 = 77{,}9МПа$$

$$P_{cp_2} = 1{,}15 \cdot 77{,}9\left(1 + \frac{115{,}15}{6 \cdot 102}\right) = 106{,}44МПа$$

$$P_2 = 106{,}44 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}11515 = 13{,}4МН$$

Для кліті №3 при $\frac{l_3}{h_{ср3}} = 1{,}39$

При t=1155 ºС $k_t$=0,68

E = 37,64% k=1,35

$\alpha_3 = 0{,}332\,рад$

$$U_{ср3}\frac{1{,}85 \cdot 0{,}332}{0{,}09633} = 6{,}37c^{-1}; \qquad k_u = 0{,}96$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0{,}68 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}96 = 100{,}46МПа$$

$$P_{ср3} = 1{,}15 \cdot 100{,}46\left(1 + \frac{96{,}33}{6 \cdot 69}\right) = 88{,}64МПа$$

$$P_3 = 88{,}64 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}09633 = 9{,}39МН$$

Для кліті №4 при $\frac{l_4}{h_{ср4}} = 1{,}96$

При t=1140 ºС $k_t$=0,7

E = 43,39% k=1,33

$\alpha_4 = 0{,}269\,рад$

$$U_{ср4}\frac{3{,}38 \cdot 0{,}269}{0{,}08167} = 11{,}1c^{-1}; \qquad k_u = 1{,}04$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0{,}7 \cdot 1{,}33 \cdot 1{,}04 = 110{,}3МПа$$

$$P_{ср4} = 1{,}15 \cdot 110{,}3\left(1 + \frac{81{,}67}{6 \cdot 41{,}5}\right) = 85{,}33МПа$$

$$P_4 = 85{,}33 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}08167 = 7{,}65МН$$

Матеріал і розміри валків наведені таблиці № 1.3.

Згідно довідковим даним [5, стор. 94] значення напруг, що допускаються, наступні:

ДУО - матеріал валків 50ХН $[\sigma]_{из} = 150МПа$

Кліть № 1 - матеріал валків 9ХФ $[\sigma]_{из} = 160 МПа$

Кліть № 2 - матеріал валків 9ХФ $[\sigma]_{из} = 160 МПа$

Кліть № 3 - матеріал валків високолегований чавун $[\sigma]_{из} = 90 МПа$

Кліть № 4 - матеріал валків високолегований чавун $[\sigma]_{из} = 90 МПа$

Допускні зусилля прокатки для двох валкової кліті згідно [2, стор.173] розраховуємо по формулі:

$$[P] = \frac{0,8 d^3 \cdot [\sigma] из}{2a - в}; \qquad (2.21)$$

де: d - діаметр валка, м

а - відстань між осями натискних гвинтів, м

в - ширина штаби, м

$$[P] = \frac{0,8 \cdot 0,81^3 \cdot 150}{2 \cdot 2,7 - 1,1} = 18,3 МН$$

$$P_д < [P]$$

Для чотирьох валкової кліті допускне зусилля прокатки визначаємо:

1) з умови міцності бочки опорних валків:

$$[P] = \frac{0,8 d_{оп}{}^3 \cdot [\sigma]_{из}}{2a - L_{б.оп}}; \qquad (2.22)$$

де: $L_{б.оп}$ - довжина бочки опорного валка, м

$d_{оп}$ - діаметр бочки опорного валка, м

Для сталевих валків 9ХФ

$$[P] = \frac{0,8 \cdot 1,17^3 \cdot 160}{2 \cdot 2,7 - 1,68} = 55,1 МН$$

2) з умови міцності шейки опорного валка

$$[P] = \frac{0,4 d^3{}_{ш.оп} \cdot [\sigma]_{из}}{L_{ш.оп}}; \qquad (2.23)$$

де: $d_{ш.оп}$ і $L_{ш.оп}$ – відповідно діаметр і довжина шейки опорного валка

$$[P] = \frac{0,4 \cdot 0,65 \cdot 160}{0,75} = 23,4$$

P<[P]

*Розрахунок крутних моментів прокатки*

Крутний момент, створюваний силоміць Р дорівнює:

$$M_{пр} = P \cdot a \; ; \qquad (2.24)$$

де *a* - плече рівнодіючої сили Р щодо центра валка (рис. 2.2)

Плече а прийняте визначати як деяку частину довжини вогнища деформації:

$$\alpha = \varphi \cdot l; \qquad (2.25)$$

де ? - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки

У такий спосіб:

$$M_{пр} = P \cdot \varphi \cdot l; \qquad (2.26)$$

Згідно експериментальним даним Клименко [12]:

Для кліті "ДУО" при $\frac{l_д}{h_{ср}} = 0,53 \varphi = 0,47$

Для кліті № 1 при $\frac{l_1}{h_{ср_1}} = 1,06 \varphi = 0,55$

Для кліті № 2 при $\frac{l_2}{h_{ср_2}} = 1,12 \varphi = 0,55$

Для кліті № 3 при $\frac{l_3}{h_{cp_3}} = 1{,}39 \varphi = 0{,}55$

Для кліті № 4 при $\frac{l_4}{h_{cp_4}} = 1{,}96 \varphi = 0{,}60$

Відповідно до вище наведеного:

$$M_{пр.д} = 4{,}15 \cdot 0{,}47 \cdot 0{,}10062 = 0{,}19 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{ін.1} = 11{,}69 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}15697 = 1{,}0 \text{МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{ін.2} = 13{,}48 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}11515 = 0{,}84 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр.3} = 9{,}39 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}09633 = 0{,}49 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр.4} = 7{,}65 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}08167 = 0{,}37 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

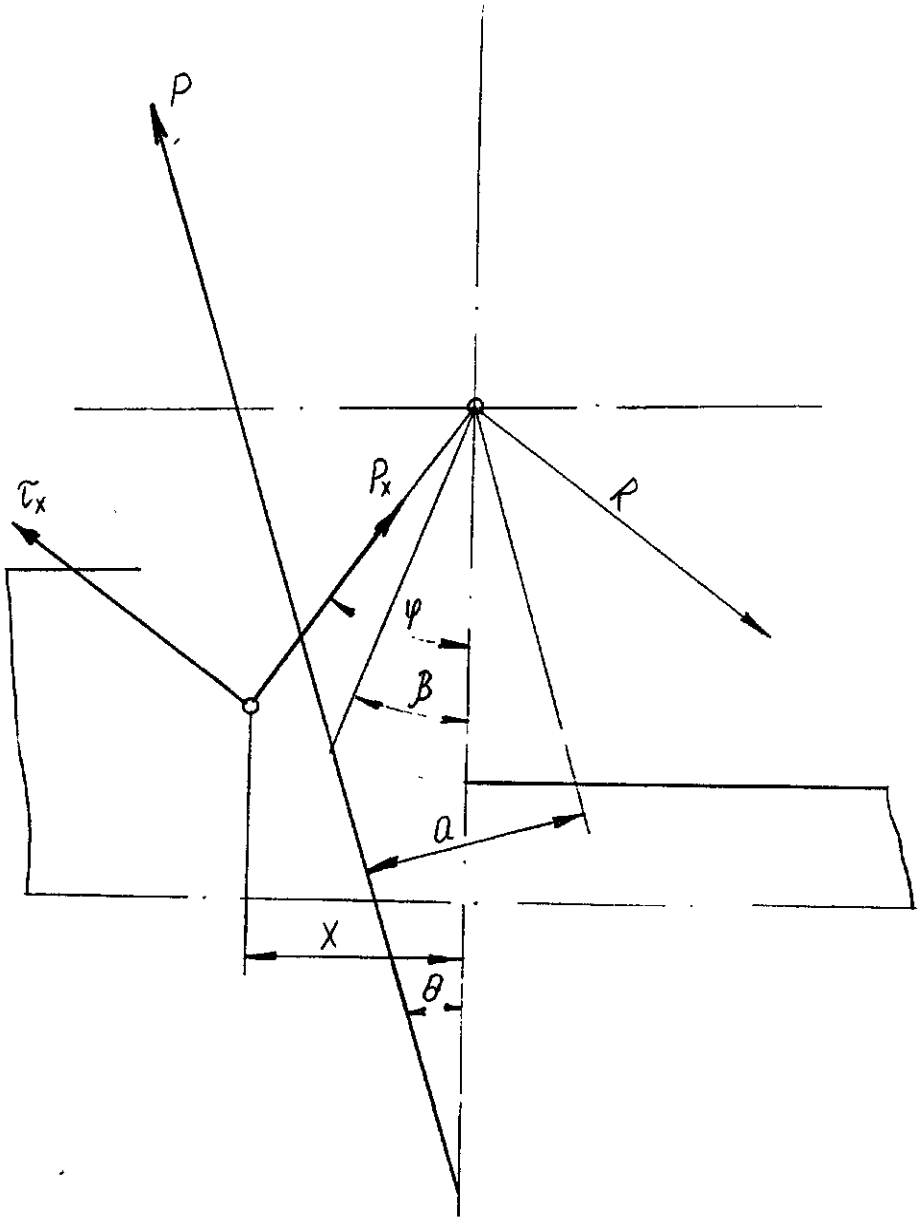



Рисунок 2.2 - Схема дії сил на валок

Припустимий крутний момент визначаємо по формулі:

$$\lfloor M_{пр} \rfloor = 2 \cdot [P] \cdot \varphi \cdot l$$

Для кліті «ДУО» $\lfloor M_{пр} \rfloor = 2 \cdot 18{,}3 \cdot 0{,}47 \cdot 0{,}10062 = 1{,}73 МН \cdot м$

Для кліті №1 $\lfloor M_{пр} \rfloor = 2 \cdot 23{,}4 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}15697 = 4{,}04 МН \cdot м$

Для кліті №2 $\lfloor M_{пр} \rfloor = 2 \cdot 23{,}4 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}11515 = 2{,}96 МН \cdot м$

Для кліті №3 $\lfloor M_{пр} \rfloor = 2 \cdot 23{,}4 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}09633 = 2{,}47 МН \cdot м$

Для кліті №4 $\lfloor M_{пр} \rfloor = 2 \cdot 23{,}4 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}08167 = 2{,}29 МН \cdot м$

$M_{пр} < [M_{пр}]$.

*Температурний режим прокатки*

Для розрахунку температурного режиму прокатки товстих смуг і аркушів можна обмежитися обліком втрат тепла тільки випромінюванням або випромінюванням і конвекцією. Розрахунок температури прокатки виконаємо використовуючи рівняння [8]:

$$\Delta t = 0{,}0021 \cdot \left(T_0 + {273}/{100}\right)^4 \cdot {т}/{h_0} \qquad (2.27)$$

де $T_0$ - температура початку охолодження, до;

т - час охолодження, с;

h - товщина смуги, мм.

Час знаходження розкату в кліті визначимо легко, по його довжині після виходу із кліті й швидкості прокатки:

$$\tau = \frac{L}{V}; \qquad (2.28)$$

$$\tau_д = \frac{L_д}{V_д} = \frac{5{,}36}{0{,}69} = 7{,}77с$$

$$\tau_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{7{,}73}{1{,}02} = 7{,}57с$$

$$\tau_2 = \frac{L_2}{V_2} = \frac{10{,}82}{1{,}04} = 10{,}4с$$

$$\tau_3 = \frac{L_3}{V_3} = \frac{17{,}35}{1{,}85} = 9{,}37с$$

$$\tau_4 = \frac{L_4}{V_4} = \frac{30{,}66}{3{,}38} = 9{,}07с$$

Отже:

$$\Delta t_д = 0{,}0021 \cdot \left(1200 + {273}/{100}\right)^4 \cdot {7{,}5}/{175} = 4{,}2°;$$

$$\Delta t_1 = 0{,}0021 \cdot \left(1195{,}8 + {273}/{100}\right)^4 \cdot {7{,}57}/{119} = 6{,}2°;$$

$$\Delta t_2 = 0{,}0021 \cdot \left(1189{,}6 + {273}/{100}\right)^4 \cdot {10{,}4}/{85} = 11{,}7°;$$

$$\Delta t_3 = 0{,}0021 \cdot \left(1177{,}8 + {273}/{100}\right)^4 \cdot {9{,}37}/{53} = 16{,}4°;$$

$$\Delta t_4 = 0{,}0021 \cdot \left(1161{,}3 + {273}/{100}\right)^4 \cdot {9{,}07}/{30} = 26{,}8°;$$

Температури розкатів при виході із клітей будуть такими:

$t_д$= 1200-4,2=1195,8 ºС

$t_1$=1195, 8-6,2=1189,6 ºС

$t_2$=1189, 6-11,7=1177,8 ºС

$t_3$=1177, 8-16,4=1161,3 ºС

$t_4$=1161, 3-26,8=1134,4 ºС.

Величина обтиснення у вертикальних валках універсальних клітей вибирається такий, щоб ліквідувати розширення, отримані при прокатці в горизонтальних валках Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Режим деформацій у клітях чорнової групи.

| № кліті | Температура прокатки, °С | Швидкість прокатки, м/с | Кут захвату, радий. | Абсолют. обтиск, мм | Віднос. обтиск, % | Довжина розкату, м | Довжина осередку деформації, мм | Середній питомий тиск, МПа | Повний тиск металу на валки, МН | Крутний момент на одному валку, МН•м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ДУО | 1195,8 | 0,7 | 0,248 | 25 | 12,5 | 5,25 | 100,62 | 37,57 | 4,15 | 0,19 |
| 1 | 1189,6 | 1,02 | 0,356 | 56 | 32 | 7,73 | 156,97 | 67,7 | 11,69 | 1,0 |
| 2 | 1177,8 | 1,04 | 0,295 | 34 | 28,57 | 10,82 | 115,15 | 106,44 | 13,4 | 0,84 |
| 3 | 1161,3 | 1,85 | 0,332 | 32 | 37,64 | 17,35 | 96,33 | 88,64 | 9,39 | 0,49 |
| 4 | 1134,4 | 3,38 | 0,269 | 23 | 43,39 | 30,66 | 81,67 | 85,23 | 7,65 | 0,37 |

## 2.2 Технологія прокатки в чистовій групі

*Розрахунок режимів обтиснень*

Температура підкату перед входом у чистову групу становить t = 1050 °С.

Температура кінця прокатки t= 950 °С.

При розробці режимів обтиснень у клітях чистової групи використовуємо формулу, виведену з умови рівномірного завантаження клітей № 4,5 і зменшень завантаження двигунів в останніх клітях.

$$h_i = \frac{h_n \cdot h_k}{\left(\nu_i \cdot h_n^m + (1-\nu_i) h_k^m\right)^{\frac{1}{m}}}; \qquad (2.29)$$

де $h_i$ - товщина смуги на виході з і-ой кліті, мм

$h_n$ - товщина підкату перед чистовою групою, мм

$h_k$- кінцева товщина смуги, мм

$V_i$ - коефіцієнт завантаження клітей

m - коефіцієнт, що розраховується по емпіричній формулі:

$$m = 0{,}3 + \frac{0{,}21}{h_k} = 0{,}3 + \frac{0{,}21}{4} = 0{,}35.$$

Коефіцієнт $V_i$ вибираємо виходячи з умови, що потужність N, що витрачається на прокатку в перших чотирьох клітях однакова, а в інших двох становить 0,75N і 0,68N.

$V_5 = 0{,}149$ $V_7 = 0{,}555$ $V_9 = 0{,}874$

$V_6 = 0{,}331$ $V_8 = 0{,}736$ $V_{10} = 1$

Отже:

$$h_5 = \frac{30 \cdot 4}{\left(1{,}149 \cdot 30^{0{,}37} + (1 - 0{,}149) \cdot 4^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 20{,}24\text{мм}$$

$$h_6 = \frac{30 \cdot 4}{\left(0{,}331 \cdot 30^{0{,}37} + (1 - 0{,}331) \cdot 4^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 13{,}2\text{мм}$$

$$h_7 = \frac{30 \cdot 4}{\left(0{,}555 \cdot 30^{0{,}37} + (1 - 0{,}555) \cdot 4^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 8{,}45\text{мм}$$

$$h_8 = \frac{30 \cdot 4}{\left(0{,}736 \cdot 30^{0{,}37} + (1 - 0{,}736) \cdot 4^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 6{,}11\text{мм}$$

$$h_9 = \frac{30 \cdot 4}{\left(0{,}874 \cdot 30^{0{,}37} + (1 - 0{,}874) \cdot 4^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 4{,}9\text{мм}$$

$$h_{10} = \frac{30 \cdot 4}{\left(1 \cdot 30^{0{,}37} + (1 - 1) \cdot 4^{0{,}37}\right)^{\frac{1}{0{,}37}}} = 4\text{мм}$$

Абсолютне обтиснення по клітях визначимо по формулі:

$$\Delta h_i = h_0 - h_i; \qquad (2.30)$$

де $h_o$ - товщина підкату на вході в кліть, мм

hi - товщина підкату на виході з і-ой кліті, мм

$$\Delta h_5 = 30 - 20{,}24 = 9{,}76\text{мм}$$

$$\Delta h_6 = 20{,}24 - 13{,}2 = 7{,}04\text{мм}$$

$$\Delta h_7 = 13{,}2 - 8{,}45 = 4{,}75\text{мм}$$

$$\Delta h_8 = 8{,}45 - 6{,}11 = 2{,}34\text{мм}$$

$$\Delta h_9 = 6{,}11 - 4{,}9 = 1{,}21\text{мм}$$

$$\Delta h_{10} = 4{,}9 - 4 = 0{,}9\text{мм}$$

Відносні обтиснення по клітях визначимо по формулі:

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} \cdot 100\%; \qquad (2.31)$$

$$E_5 = \frac{9{,}76}{30} \cdot 100\% = 32{,}5\%$$

$$E_6 = \frac{7{,}04}{20{,}24} \cdot 100\% = 34{,}7\%$$

$$E_7 = \frac{4{,}75}{13{,}2} \cdot 100\% = 35{,}9\%$$

$$E_8 = \frac{2{,}34}{8{,}45} \cdot 100\% = 27{,}6\%$$

$$E_9 = \frac{1{,}21}{6{,}11} \cdot 100\% = 19{,}8\%$$

$$E_{10} = \frac{0{,}9}{4{,}9} \cdot 100\% = 18{,}4\%$$

З рівності сталості секундного обсягу й з обліком того, що в безперервній групі клітей $b_1h_1$ - $b_2h_2$, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження.

$$V_{i-1} = \frac{h_i \cdot V_i}{h_{i-1}};$$

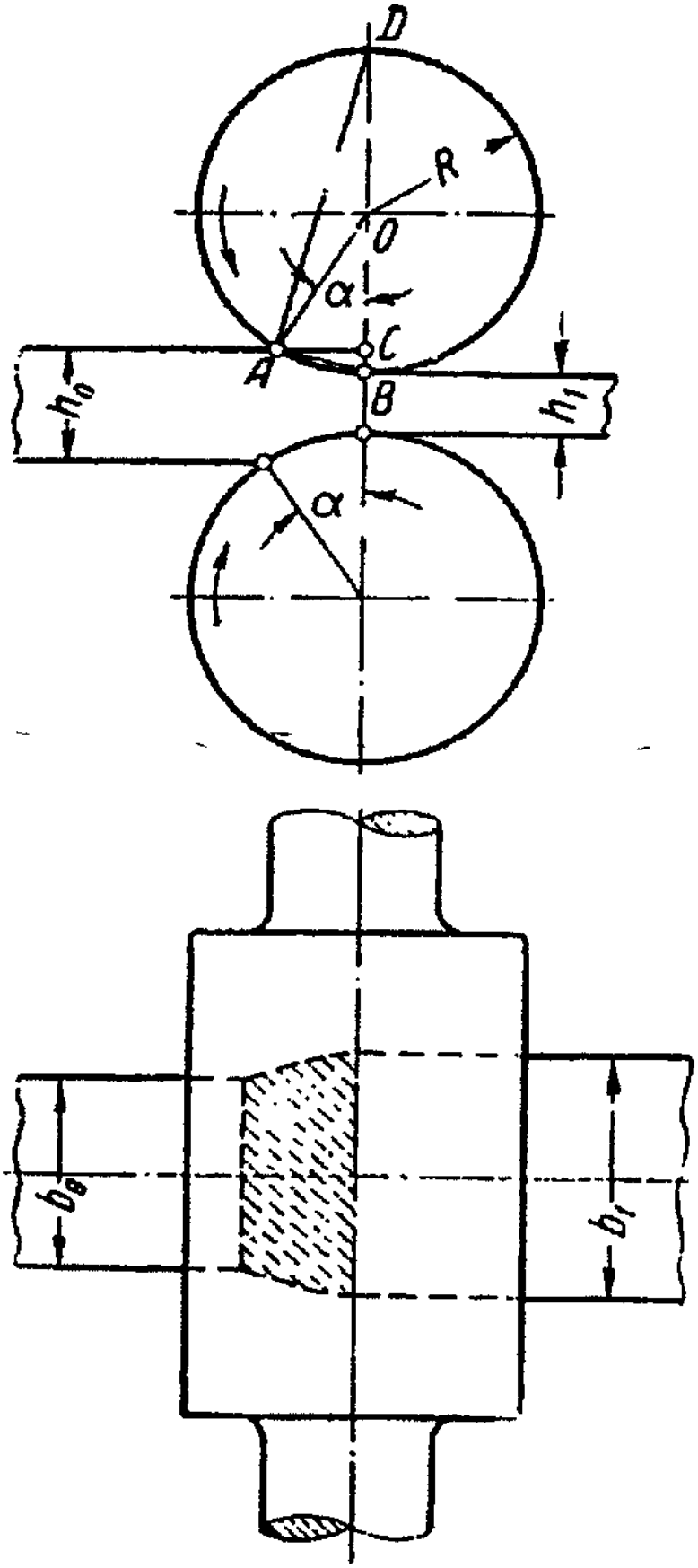



Рисунок 2.3 - Схема прокатки металу у валках.

При $V_{10}$=9 м/с одержимо: $V_9 = \frac{h_{10} \cdot h_{10}}{h_9} = \frac{4 \cdot 9}{4,9} = 7,34 м/с$

$$V_8 = \frac{h_9 \cdot h_9}{h_8} = \frac{7,34 \cdot 4,9}{6,11} = 5,89 м/с$$

$$V_7 = \frac{h_8 \cdot h_8}{h_7} = \frac{6,11 \cdot 5,89}{8,45} = 4,26 м/с$$

$$V_6 = \frac{h_7 \cdot h_7}{h_6} = \frac{4,26 \cdot 8,45}{13,2} = 2,72 м/с$$

$$V_5 = \frac{h_6 \cdot h_6}{h_5} = \frac{13,2 \cdot 2,72}{20,24} = 1,77 м/с$$

Певну в такий спосіб швидкість необхідно скорегувати на величину випередження. Швидкість виходу смуги визначають по формулі:

$$V = V_B(1 + S); \qquad (2.33)$$

де $V_B$- швидкість отримана без обліку випередження, м/с

S-Випередження

Відповідно до запропонованого Екелундом формулі [2]:

$$S = \frac{\gamma^2}{2}\left(\frac{d}{h} - 1\right); \qquad (2.34)$$

де d - діаметр валків, м

γ - нейтральний кут, радий

h - товщина смуги на виході з валків, м

Нейтральний кут визначимо по залежності :

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha}{2} - \frac{\cos\alpha}{2f}; \qquad (2.35)$$

де f - коефіцієнт тертя;

α - кут захвата, радий.

Кут захвата визначається по формулі:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}; \qquad (2.36)$$

де $\Delta h$ - абсолютне обтиснення

R - радіус валка, мм

d = 580 мм, отже R = 290 мм.

$$\alpha_5 = \sqrt{\frac{9,76}{290}} = 0,183 \text{рад}$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{7,04}{290}} = 0,155 \text{рад}$$

$$\alpha_7 = \sqrt{\frac{4,75}{290}} = 0,127 \text{рад}$$

$$\alpha_8 = \sqrt{\frac{2,34}{290}} = 0,089 \text{рад}$$

$$\alpha_9 = \sqrt{\frac{1,21}{290}} = 0,064 \text{рад}$$

$$\alpha_{10} = \sqrt{\frac{0,9}{290}} = 0,055 \text{рад}.$$

Розрахунок коефіцієнта тертя ведемо по формулі Екелунда [8]:

$$\mu = 0,8(1,05 - 0,0005t); \qquad (2.37)$$

де t-температура розкату, °С.

Температурами розкатів у кожній кліті задаємося приблизно до діючого процесу прокатки з інтервалу 1050+950 °С.

Кліть № 5 - 1050 °С

Кліть №6 - 1040 °С

Кліть №7 - 1025°С

Кліть №8 - 1000 °С

Кліть № 9 - 975 °С

Кліть №10 - 950 °С

Підставляючи дані у формулу (2.37) одержимо:

$$\mu_5 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1050) = 0{,}42$$

$$\mu_6 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1040) = 0{,}425$$

$$\mu_7 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1025) = 0{,}43$$

$$\mu_8 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 1000) = 0{,}44$$

$$\mu_9 = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 975) = 0{,}45$$

$$\mu_{10} = 0{,}8(1{,}05 - 0{,}0005 \cdot 950) = 0{,}46$$

Підставляючи у формулу (2.43) значення кутів захвата й коефіцієнтів тертя одержимо:

$$\sin\gamma_5 = \frac{\sin 0{,}183}{2} - \frac{\cos 0{,}183}{2 \cdot 0{,}42} = 0{,}0015$$

$$\sin\gamma_6 = \frac{\sin 0{,}155}{2} - \frac{\cos 0{,}155}{2 \cdot 0{,}425} = 0{,}0013$$

$$\sin\gamma_7 = \frac{\sin 0{,}127}{2} - \frac{\cos 0{,}127}{2 \cdot 0{,}43} = 0{,}0011$$

$$\sin\gamma_8 = \frac{\sin 0{,}189}{2} - \frac{\cos 0{,}189}{2 \cdot 0{,}44} = 0{,}0007$$

$$\sin\gamma_9 = \frac{\sin 0{,}064}{2} - \frac{\cos 0{,}064}{2 \cdot 0{,}45} = 0{,}0005$$

$$\sin\gamma_{10} = \frac{\sin 0{,}055}{2} - \frac{\cos 0{,}055}{2 \cdot 0{,}46} = 0{,}0004$$

Звідси:

$\gamma_5 \approx 0{,}091$ $\gamma_7 \approx 0{,}063$ $\gamma_9 \approx 0{,}032$

$\gamma_6 \approx 0{,}077$ $\gamma_8 \approx 0{,}044$ $\gamma_{10} \approx 0{,}027$

Підставляючи отримані дані у формулу (2.33) одержимо випередження:

$$S_5 = \frac{0{,}091^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}02024} - 1\right) = 0{,}114$$

$$S_6 = \frac{0{,}077^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}0132} - 1\right) = 0{,}127$$

$$S_7 = \frac{0{,}063^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}00845} - 1\right) = 0{,}134$$

$$S_8 = \frac{0{,}044^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}00611} - 1\right) = 0{,}09$$

$$S_9 = \frac{0{,}032^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}0049} - 1\right) = 0{,}06$$

$$S_{10} = \frac{0{,}027^2}{2}\left(\frac{0{,}58}{0{,}004} - 1\right) = 0{,}052$$

Тоді швидкість виходу смуги з урахуванням ковзання:

$$V_5 = 1{,}75(1 + 0{,}144) = 1{,}97\text{м/с}$$

$$V_6 = 2{,}72(1 + 0{,}127) = 3{,}061\text{м/с}$$

$$V_7 = 4{,}26(1 + 0{,}134) = 4{,}83 \text{м/с}$$

$$V_8 = 5{,}89(1 + 0{,}09) = 6{,}42 \text{м/с}$$

$$V_9 = 7{,}34(1 + 0{,}06) = 7{,}78 \text{м/с}$$

$$V_{10} = 9(1 + 0{,}052) = 9{,}46 \text{м/с}$$

*Розрахунок енергосилових параметрів прокатки*

Визначаємо середню товщину підкату:

$$h_{ср} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \qquad (2.38)$$

де $h_i$ - товщина підкату на вході в кліть, мм

$h_{t+i}$ - товщина підкату на виході із кліті, мм

$$h_{ср_5} = \frac{30 + 20{,}24}{2} = 25{,}12 \text{мм}$$

$$h_{ср_6} = \frac{20{,}24 + 13{,}2}{2} = 16{,}72 \text{мм}$$

$$h_{ср_7} = \frac{13{,}2 + 8{,}45}{2} = 10{,}86 \text{мм}$$

$$h_{ср_8} = \frac{8{,}45 + 6{,}11}{2} = 7{,}28 \text{мм}$$

$$h_{ср_9} = \frac{6{,}11 + 4{,}9}{2} = 5{,}5 \text{мм}$$

$$h_{ср_{10}} = \frac{4{,}9 + 4}{2} = 4{,}45 \text{мм}$$

Довжину дуги згідно [12, стор. 23] визначимо по формулі:

$$l = \sqrt{R\Delta h}; \qquad (2.39)$$

$$l_5 = \sqrt{290 \cdot 9,76} = 53,2\text{мм}$$

$$l_6 = \sqrt{290 \cdot 7,04} = 45,18\text{мм}$$

$$l_7 = \sqrt{290 \cdot 4,75} = 37,11\text{мм}$$

$$l_8 = \sqrt{290 \cdot 2,34} = 26,04\text{мм}$$

$$l_{10} = \sqrt{290 \cdot 0,9} = 16,15\text{мм}$$

Визначаємо відношення довжини дуги захвата до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_5}{h_{cp_5}} = \frac{53,2}{25,12} = 2,11$$

$$\frac{l_6}{h_{cp_6}} = \frac{45,18}{16,72} = 2,7$$

$$\frac{l_7}{h_{cp_7}} = \frac{37,11}{10,86} = 3,41$$

$$\frac{l_8}{h_{cp_8}} = \frac{26,04}{7,28} = 3,57$$

$$\frac{l_9}{h_{cp_9}} = \frac{18,73}{5,5} = 3,4$$

$$\frac{l_{10}}{h_{cp_{10}}} = \frac{16,15}{4,45} = 3,62$$

Розрахунок енергосилових параметрів 5-ой кліті:

Для кліті №5 при $\frac{l_5}{h_{cp_5}} = \frac{53,2}{25,12} = 2,11$ . Розрахунок середнього контактного тиску виконуємо по формулі Бровмана [13, стор. 633] тому що $\frac{l}{h_{cp}} > 2$.

$$P_{ср} = 1{,}15\sigma_T\left(0{,}75 + 0{,}25\ {}^{1}\!/_{h_{ср}}\right), \quad (2.40)$$

де $\sigma_т$ - границя текучості металу, що прокочується, відповідним реальним умовам обробки.

Згідно [12]:

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_E \cdot k_t \cdot k_u \quad (2.41)$$

де $\sigma_0$ - базисний опір деформації,

$k_E \cdot k_t \cdot k_u$ - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення $\sigma_0$ і коефіцієнтів $k_E \cdot k_t \cdot k_u$ наведені в літературі [10, стор. 52].

Для сталі 60С2 $\sigma_0$ = 114 МПа

При t=1050 °С $k_t$=0,86

E = 32,5% $K_E$= 1,28

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [12, стор.81]:

$$U_{ср} = \frac{V \cdot \alpha}{l}; \quad (2.42)$$

Тоді формула (2.42) прийме вид:

$$U_{ср_5} = \frac{V_5 \cdot \alpha_5}{l_5};$$

де $\alpha_5 = 0{,}183$рад

$V_5 = 1{,}97$м/с

$l_5 = 53{,}2$мм

$$U_{ср5} = \frac{1{,}97 \cdot 0{,}183}{0{,}0532} = 6{,}77\text{с}^{-1} \qquad k_u = 0{,}94$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0{,}86 \cdot 1{,}28 \cdot 1{,}94 = 117{,}96\text{МПа}$$

$$P_{ср_5} = 1{,}15 \cdot 117{,}96(0{,}75 + 0{,}25 \cdot 2{,}11) = 173{,}3 МПа$$

Вплив натягу кінців смуги на тиск урахуємо додатково за допомогою формули:

$$P_{ср} = P'_{ср}\left(1 + \frac{\delta_0 + \delta_1}{2P'_{ср}}\right); \qquad (2.43)$$

де $P'_{ср}$ - середній контактний тиск розраховане без обліку натягу, МПа; $\delta_0 и \delta_1$ - відповідно задній і передні питомий натяг, МПа.

Однак в 5-ой кліті задній натяг відсутній, а передні невеликий, тому можна їм зневажити.

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

$$P = P_{ср} \cdot B \cdot l_д; \qquad (2.44)$$

де В - ширина матеріалу, що прокочується, м

$$P_5 = 173{,}3 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}0532 = 10{,}14 Мн$$

Крутний момент, створюваний силоміць Р дорівнює:

$$M_{пр} = P \cdot a; \qquad (2.45)$$

де а - плече рівнодіючої сили Р щодо центра валка (мал. № 2.2)

Плече а прийняте визначати як деяку частину довжини вогнища деформації:

$$a = \varphi \cdot l; \qquad (2.46)$$

де $\varphi$ - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки.

У такий спосіб:

$$M = P \cdot \varphi \cdot l; \qquad (2.47)$$

$\varphi$ - коефіцієнт плеча моменту згідно [13, стор.232] визначимо по формулі:

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028\frac{l}{h_{ср}};$$

Тоді підставляючи чисельні значення у формулу одержимо:

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028\frac{53{,}2}{25{,}12} = 0{,}43.$$

Отже $M_{пр_5} = 10{,}14 \cdot 0{,}43 \cdot 0{,}0532 = 0{,}23 МН \cdot м$

Розрахунок енергосилових параметрів в інших клітях чистової групи ведемо аналогічно 5-ой кліті але з обліком переднього й заднього натягу смуги.

Кліть № 6:

Натяги $\delta_0$ и $\delta_1$ наведені в [1, стор. 28].

$\delta_0 = 1{,}7$МПа

$\delta_1 = 4{,}3$МПа

Температуру прокатки визначимо по формулі:

$$t = t_{пк} - \frac{(t_{пк} - t_к)}{h_п - h_к}\left(\frac{h_п}{h} - 1\right); \qquad (2.48)$$

де $t_{пк}$- температура підкату,°С

$t_к$- температура кінця прокатки,°С

$h_п$ - товщина підкату, мм

$h_к$- товщина кінця прокатки, мм

$$t = 1050 - \frac{(1050 - 950)\cdot 4}{30 - 4}\left(\frac{30}{13{,}2} - 1\right) \approx 1030°С \qquad к_t = 0{,}96$$

Е=34,7% $\qquad к_Е = 1{,}2$

$$U_{ср_6} = \frac{3{,}06 \cdot 0{,}155}{0{,}04518} = 10{,}4 с^{-1} \qquad k_u = 1{,}0$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 0{,}98 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 = 123{,}12 МПа$$

$$P'_{ср_6} = 1{,}15 \cdot 123{,}12(0{,}75 + 0{,}25 \cdot 2{,}7) = 201{,}7 МПа$$

$$P_{ср} = 201{,}7\left(1 - \frac{1{,}7 + 4{,}3}{2 \cdot 201{,}7}\right) = 198{,}7 МПа$$

$$P_6 = 198{,}7 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}04518 = 9{,}87 МН$$

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \cdot 2{,}7 = 0{,}422$$

$$M_{пр_6} = 9{,}87 \cdot 0{,}422 \cdot 0{,}04518 = 0{,}18 МН \cdot м$$

Кліть № 7:

$\delta_0$ = 4,3 МПа

$\delta_1$ = 5,2 МПа

$$t_7 = 1050 - \frac{(1050 - 950) \cdot 4}{30 - 4}\left(\frac{30}{8{,}45} - 1\right) = 1010°C \qquad к_t = 0{,}98$$

E=35,9% $\qquad к_E = 1{,}2$

$$U_{ср_7} = \frac{4{,}83 \cdot 0{,}127}{0{,}03711} = 16{,}5 с^{-1} \qquad k_u = 1{,}06$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}98 = 142{,}1 МПа$$

$$P'_{ср_7} = 1{,}15 \cdot 142{,}1(0{,}75 + 0{,}25 \cdot 3{,}41) = 261{,}88 МПа$$

$$P_{ср} = 261{,}88\left(1 - \frac{4{,}3 + 5{,}2}{2 \cdot 261{,}88}\right) = 257 МПа$$

$$P_7 = 257 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}03711 = 10{,}49 МН$$

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \cdot 3{,}41 = 0{,}4$$

$$M_{пр_7} = 10{,}49 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}03711 = 0{,}15 МН \cdot м$$

Кліть №8:

$\delta_0 = 5{,}2$ МПа

$\delta_1 = 9{,}4$ МПа

$$t_8 = 1050 - \frac{(1050-950)\cdot 4}{30-4}\left(\frac{30}{6{,}11}-1\right) \approx 999°C \qquad к_t = 1{,}0$$

E=27,6% $\qquad к_E = 1{,}18$

$$U_{ср_8} = \frac{4{,}62 \cdot 0{,}089}{0{,}02604} = 21{,}9 с^{-1} \qquad k_u = 1{,}18$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 1{,}18 \cdot 1{,}18 \cdot 1{,}0 = 158{,}73 МПа$$

$$P'_{ср_8} = 1{,}15 \cdot 158{,}73(0{,}75 + 0{,}25 \cdot 3{,}57) = 299{,}8 МПа$$

$$P_{ср} = 299{,}8\left(1 - \frac{5{,}2+9{,}4}{2 \cdot 299{,}8}\right) = 292{,}5 МПа$$

$$P_8 = 292{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}02604 = 8{,}37 МН$$

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \cdot 3{,}57 = 0{,}39$$

$$M_{пр_7} = 8{,}37 \cdot 0{,}39 \cdot 0{,}02604 = 0{,}086 МН \cdot м$$

Кліть №9:

$\delta_0 = 9{,}4$ МПа

$\delta_1 = 4{,}6$ МПа

$$t_9 = 1050 - \frac{(1050-950)\cdot 4}{30-4}\left(\frac{30}{4{,}9}-1\right) = 971{,}6°C \qquad к_t = 1{,}05$$

E=19,8% $\qquad к_E = 1{,}05$

$$U_{ср_9} = \frac{7{,}78 \cdot 0{,}064}{0{,}01873} = 26{,}5 с^{-1} \qquad k_u = 1{,}19$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}19 = 150{,}82 МПа$$

$$P'_{ср_9} = 1{,}15 \cdot 150{,}82(0{,}75 + 0{,}25 \cdot 3{,}4) = 277{,}5 МПа$$

$$P_{ср} = 277,5\left(1 - \frac{9,4 + 4,6}{2 \cdot 277,5}\right) = 270,5МПа$$

$$P_9 = 270,5 \cdot 1,1 \cdot 0,01873 = 5,57МН$$

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 3,4 = 0,4$$

$$M_{пр9} = 5,57 \cdot 0,4 \cdot 0,01873 = 0,042МН \cdot м$$

Кліть №10:

$\delta_0$ = 4,6 МПа

$\delta_1$ = 0 МПа

$$t_{10} = 1050 - \frac{(1050 - 950) \cdot 4}{30 - 4}\left(\frac{30}{4} - 1\right) = 950°C \qquad к_t = 1,11$$

E=18,4% $\qquad к_E = 1,0$

$$U_{ср10} = \frac{9,46 \cdot 0,055}{0,01615} = 32,24с^{-1} \qquad k_u = 1,21$$

$$\sigma_T = 114 \cdot 1,11 \cdot 1,0 \cdot 1,21 = 153,1МПа$$

$$P'_{ср10} = 1,15 \cdot 153,1(0,75 + 0,25 \cdot 3,62) = 291,4МПа$$

$$P_{ср} = 291,4\left(1 - \frac{4,6}{2 \cdot 291,4}\right) = 289,1МПа$$

$$P_{10} = 289,1 \cdot 1,1 \cdot 0,01615 = 5,13МН$$

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 3,62 = 0,39$$

$$M_{пр10} = 5,13 \cdot 0,39 \cdot 0,01615 = 0,032МН \cdot м$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Режим деформацій у клітях чистової групи

| № кліті | Температура прокатки, °С | Швидкість прокатки, м/с | Кут захвату, рад. | Абсолют. обтиск, мм | Віднос. обтиск, % | Довжина осередку деформації, мм | Середнє питомий тиск, МПа | Повний тиск металу на валки, МН | Крутний момент на одному валку, МН *м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1050 | 1,97 | 0,183 | 9,76 | 32,5 | 53,2 | 173,3 | 10,14 | 0,23 |
| 6 | 1030 | 3,06 | 0,155 | 7,04 | 34,7 | 45,18 | 198,7 | 9,87 | 0,18 |
| 7 | 1010 | 4,83 | 0,127 | 4,75 | 35,9 | 37,11 | 257 | 10,49 | 0,15 |
| 8 | 999 | 6,42 | 0,089 | 2,34 | 27,6 | 26,04 | 292,5 | 8,37 | 0,086 |
| 9 | 971,6 | 7,78 | 0,064 | 1,21 | 19,8 | 18,73 | 270,5 | 5,57 | 0,042 |
| 10 | 950 | 9,46 | 0,055 | 0,9 | 18,4 | 16,15 | 289,1 | 5,13 | 0,032 |

## 2.3 Технологія прокатки у вертикальних валках

Вертикальні валки призначені для бічного обтиснення сляба й вирівнювання бічних крайок штаби, відповідно до обраної схеми прокатки (рис. 2.3).

Розрахункові величини обтиснень по кожній із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи визначається по формулі:

$$\Delta b_{p.max.i} = b_{i-1} \cdot E_{max.i}; \qquad (2.49)$$

де $E_{мах}$.і-і- припустиме відносне обтиснення;

$b_и$ - ширина смуги до прокатки, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.49) одержимо наступні припустимі відносні обтиснення:

$$\Delta b_{p.max.1} = 1115 \cdot 0{,}015 = 16{,}72 мм$$

$$\Delta b_{p.max.2} = 1110 \cdot 0{,}01 = 11{,}1 мм$$

$$\Delta b_{p.max.3} = 1105 \cdot 0{,}0075 = 8{,}26 мм$$

Приймаємо $E_1$ = 0,55 % тоді: 1115- $\Delta b_1$ 1110=5мм

Приймаємо $E_2$ = 0,55% тоді: $\Delta b_2$ = 1110-1105 =5 мм

Приймаємо $E_3$ = 0,55% тоді: $\Delta b_3$ = 1105-1100 = 5 мм.

Швидкість прокатки в клітях вертикальних валків повинна бути дорівнює швидкості заднього кінця смуги при прокатці в клітях з горизонтальними валками й підраховується по формулі [7]:

$$V_{эдж} = \frac{V_{кл} \cdot h_1}{h_0}; \qquad (2.50)$$

де:

$h_0$ - товщина смуги до прокатки, мм;

$h_1$ - товщина смуги після кліті, у якої встановлена кліть вертикальних валків, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.50 ) знайдемо швидкості прокатки в клітях вертикальних валків:

$$V_{эдж1} = \frac{1,04 \cdot 85}{119} = 0,74 м/с$$

$$V_{эдж2} = \frac{1,66 \cdot 53}{85} = 1,03 м/с$$

$$V_{эдж3} = \frac{2,94 \cdot 30}{53} = 1,66 м/с$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю № 2.4

Таблиця № 2.4 - Обтиснення вертикальної кліті.

| № вертикальної кліті | Розрахункове обтиснення, мм | Припустиме Обтиснення, мм | Швидкість прокатки в кліті, м/с |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 16,72 | 0,74 |
| 2 | 5 | 11,1 | 1,03 |
| 3 | 5 | 8,26 | 1,66 |

# 3 МЕХАНАНІЧНА ЧАСТИНА

## 3.1 Розрахунок на міцність деталей кліті

### *3.1.1 Розрахунок на міцність валків*

При прокатці штаби між робочими валками згибаються як опорні, так і робочі валки (рис.3.1).

Приймаємо з розрахункових даних:

зусилля прокатки $P = 13,5 МН (1350 Т)$,

максимальний момент, що крутиться $M_{кр} = 0,3 МНм (300 Т \cdot м)$,

різниця натягу $T = 200 КН (20 Т)$.

*3.2.2 Розрахунок виконується для кліті №5, чистової групи клітей.*

Визначаємо розподіл зусилля між робочим і опорним валянням по формулі: $\left(\frac{P}{\frac{оп}{D_p}}\right)^4 = \left(\frac{1170}{580}\right)^4 = 17,752;$

$$P_p = \frac{P}{1 + \left(\frac{P}{\frac{оп}{D_p}}\right)^4} = \frac{13,5}{1 + 17,752} = 0,72 МН (72 Т)$$

;

$$P_{оп} = P - P_p = 13,5 - 0,72 = 12,78 МН (1278 Т).$$

Таким чином, робочі валки сприймають тиск:

$$\frac{0,72}{13,5} = 0,053 (5,3\%)$$

.

$a' = 2230 мм$, де $a$ - відстань між осями натяжних гвинтів.

Максимальний згинальний момент

$$M_p = \frac{P_p \cdot a}{8} = \frac{0,72 \cdot 2,23}{8} = 0,20 МН \cdot м$$

.

Максимальний згинальний момент від різниці горизонтальних натягів смуги (для одного валка)

$$M_T = \frac{1}{2}\cdot\frac{T}{4}\left(a' - \frac{b}{2}\right) = \frac{1}{2}\cdot\frac{200}{4}\left(2{,}23 - \frac{1{,}25}{2}\right) = 40{,}125 kHм,$$

де $b$ - ширина смуги.

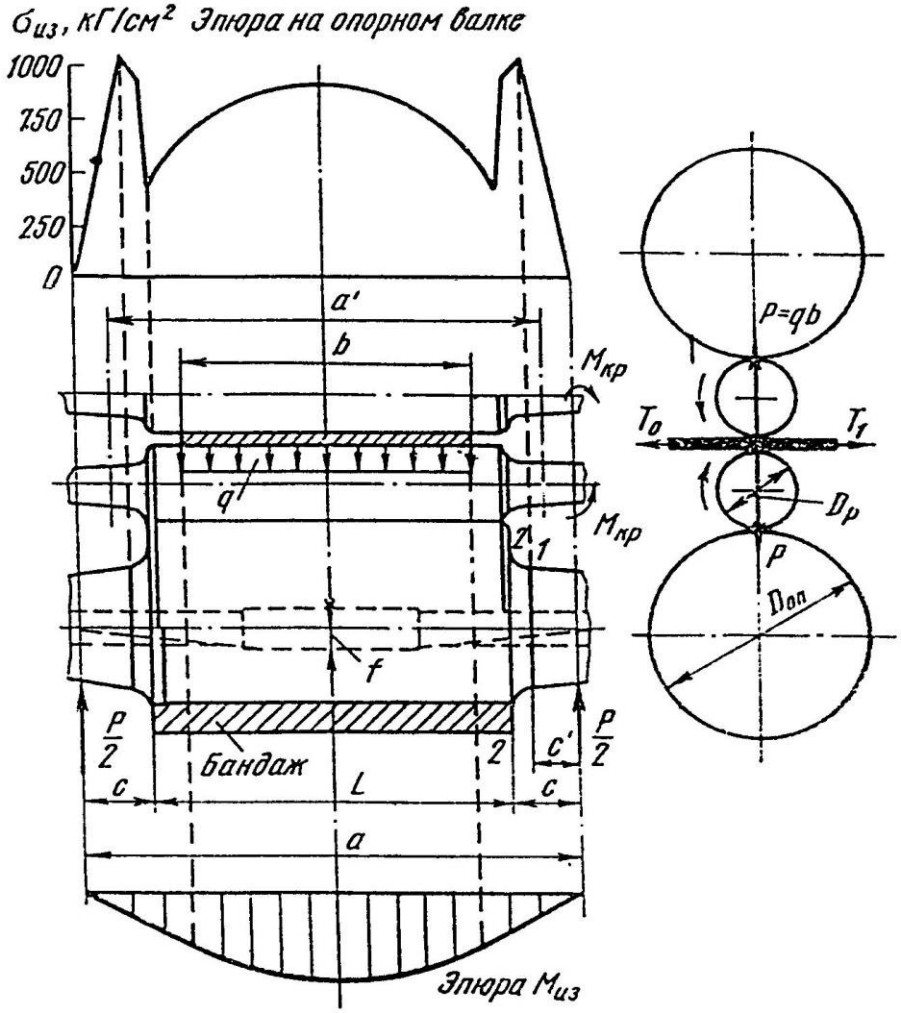



Рисунок 3.1 - До розрахунку валків чотирьохвалкового стана (нижній опорний валок цілий і складовій бандажированій)

Результуючий згинальний момент по середині бочки робочого валка

$$M_{раб} = \sqrt{M_p^{\,2} + M_T^{\,2}} = \sqrt{200^2 + 40{,}125^2} = 204 kHм.$$

Максимальна напруга вигину посередині бочки валка

$$\sigma = \frac{M_{раб}}{0{,}1D_p^{\,3}} = \frac{204\cdot 10^3\cdot 10^3}{0{,}1\cdot 570^3} = 11{,}02 H/мм^2\ (110 кГ/см^2).$$

Напруга крутіння на шейку валка

$$\iota = \frac{M_{кр}\psi}{0{,}2d_{шр}^{\ 3}} = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 2{,}1}{0{,}2 \cdot 395^3} = 51{,}11 Н/мм^2 (511 кГ/см^2$$

,

де $\psi = 2{,}1$ - коефіцієнт концентрації напруг.

### *3.1.3 Напруги в опорному валку*

Максимальний згинальний момент і напруга по середині бочки, при вигині

$$M_{оп} = \frac{P_{оп}}{4}\left(a - \frac{b}{2}\right) = \frac{12{,}78}{4}\left(2{,}7 - \frac{1{,}25}{2}\right) = 6{,}63 МНм (6630 Тм),$$

$$\sigma = \frac{M_{оп}}{0{,}1P_{оп}^{\ 3}} = \frac{6{,}63}{0{,}1 \cdot 1{,}17^3} = 41{,}4 Н/мм^2 (414 кГ/см^2)$$

.

Напруга вигину в перетині 1-1

$$\sigma = \frac{P/2 \cdot C}{0{,}1d^3} = \frac{(12{,}78/2 \cdot 0{,}35)}{0{,}1 \cdot 0{,}65^3} = 81{,}44 Н/мм^2 (8144 кГ/см^2)$$

у перетині 2-2

$$\sigma = \frac{(12{,}78/2) \cdot 0{,}51}{0{,}1 \cdot 0{,}75^3} = 77{,}25 Н/мм^2 (772 кГ/см^2)$$

Коефіцієнт запасу міцності в небезпечному перерізі

$$n = \frac{[\sigma_ф]}{\sigma} = \frac{450}{81{,}44} = 5{,}52 \rangle [n] = 5,$$

тому розрахунок валка на витривалість не робимо.

### *3.1.4 Контактна напруга в поверхневому шарі валків*

Наведений модуль пружності

$$E_{пр} = 2 \cdot E_р \cdot E_{оп} / (E_р + E_{оп}) = 1{,}4 \cdot 10^5 кН/мм^2.$$

Контактна напруга

$$\sigma_{конт} = 0{,}58\sqrt{q\frac{E_{пр}}{R_{пр}}} = 0{,}58\sqrt{\frac{10208 \cdot 1{,}4 \cdot 10 \cdot 5}{192}} = 1582{,}4 Н/мм^2;$$

$$R_{пр} = \frac{R_{оп} \cdot R_р}{R_{оп} \cdot R_р} = \frac{585 \cdot 285}{585 + 285} = 192 мм;$$

$$q = P_{оп} / b = 12{,}78 \cdot 10^6 / 1250 = 10208 Н / мм^2 .$$

*3.1.5 Визначаємо прогин опорного валка*

$$J_1 = \pi D_4 / 64 = 3{,}14 \cdot 1{,}17 / 64 = 0{,}09 м^4 .$$

$$\left(\frac{J_1}{J_2}\right) = \left(\frac{P_{оп}}{d_ш}\right)^4 = \left(\frac{1{,}17}{0{,}65}\right)^4 = 10{,}5;$$

$$\left(\frac{D_{оп}}{d_ш}\right)^2 = \left(\frac{1{,}17}{0{,}65}\right)^2 = 3{,}24;$$

$$E_1 = 2{,}15 \cdot 10^{11} Н / мм^2;$$

$$G = 0{,}82 \cdot 10^{11} Н / мм_2;$$

$$f_1 = \frac{P}{384 EJ_1}\left(8a^3 - 4ab^2 + b^3 + 64c^2\left(\frac{J_1}{J_2} - 1\right)\right);$$

$$f_2 = \frac{P}{\pi G D^2}\left(a - \frac{b}{2} + 2c\left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right)\right);$$

$$f_1 = \frac{12{,}78 \cdot 10^6}{384 \cdot 2{,}15 \cdot 10^{11} \cdot 0{,}09}\left(8 \cdot 2{,}7^3 - 4 \cdot 2{,}7 \cdot 1{,}25^2 1{,}25^3 + 6{,}4 \cdot 0{,}51^2\left(10{,}5 - 1\right)\right) =$$

$$= 0{,}00051 мм;$$

$$f_2 = \frac{12{,}78 \cdot 10^6}{3{,}14 \cdot 0{,}82 \cdot 10^4 \cdot 1{,}17^2}\left(2{,}7 - \frac{1{,}25}{2} + 2 \cdot 0{,}51\left(3{,}24 - 1\right)\right);$$

$$\Delta f = \frac{P \cdot b}{2\pi G D^2}\left(1 + \frac{b}{80^2}\left(12a - 7b\right)\right) =$$

$$\frac{12{,}78 \cdot 10^6 \cdot 1{,}25}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}82 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}17^2}\left(1 + \frac{1{,}25}{8 \cdot 1{,}17^2}\left(12 \cdot 2{,}7 - 7 \cdot 1{,}25\right)\right) = 000008 мм$$

Сумарний прогин валка по середині бочки

$$f = f_1 + f_2 = 0{,}00051 + 0{,}00016 = 0{,}00067 мм.$$

*3.1.6 Пружне сплющування в місці контакту опорного й робітника валків*

$$\delta_k = \left(1{,}3 \cdot q / E_{пр}\right) \cdot l_g\left(1{,}65\left(D_1 + D_2\right) E_{пр} / q\right) =$$

$$\left(1{,}3 \cdot 10208 / 2{,}15 \cdot 10^5\right) l_g\left(1{,}65\left(1170 + 570\right) 2{,}15 \cdot 10^5 / 10208\right) = 0{,}29 мм.$$

*3.1.7 Сумарне пружне радіальне контактне сплющування двох пар валків робочої кліті*

$\delta_k = 2\delta = 2 \cdot 0{,}29 = 0{,}58мм.$

## 3.2 Розрахунок на міцність натискних гвинтів і гайок

Задано: різьблення натискного гвинта УП $430 \times 10мм$; зовнішній діаметр $d = 430мм;$ середній $d = 425мм;$ внутрішній $d = 419мм$.

Максимальне зусилля під гвинт

$$Y = \frac{P}{2} = \frac{13{,}5}{2} = 6{,}75МН.$$

*3.1.2 Кут підйому різьблення*

$$\alpha = arctg\frac{S}{\pi d_{ср}} = arctg\frac{10}{3{,}14 \cdot 425} = 0°26'$$

*3.1.3 Натискний гвинт*

Напруга стиску в перетині нижнього опорного кінця гвинта, що має $d = 390мм$:

$$\sigma = \frac{4Y}{\pi d_н^{\,2}} = \frac{4 \cdot 6{,}75 \cdot 10^6}{3{,}14 \cdot 390^2} = 56{,}5Н/мм^2$$

Момент, необхідний для обертання гвинта:

$$M_в = Y'\left(\mu_п \frac{d_п}{3} + \frac{d_{ср}}{2}\left(tg(\alpha\varphi)\right)\right) =$$

$$150\left(\frac{0{,}430}{3} + 0{,}1 + \frac{0{,}425}{2}tg\left(26'+5^\circ 40'\right)\right) = 5{,}56МНм$$

при $Y' = 150kH, \mu_п = 0{,}1; \varphi = 5^\circ 40'; M_в = 5{,}56МНм.$

$$\tau = \frac{M_и'}{0{,}2d_п^{\,3}} = \frac{5{,}56 \cdot 10^6}{0{,}2 \cdot 390^3}0{,}468Н/мм^2.$$

*3.1.4 Натискна гайка*

Висота гайки $H = 460мм;\ D = 670мм.$

Кількість витків різьблення

$\kappa = H/S = 450/10 = 46$.

Напруга зминання між витками гвинта й гайки

$$\sigma_{см} = \frac{4Y}{\pi\left(d^2 - d_1^2\right)к} = \frac{4 \cdot 6{,}75 \cdot 10^6}{3{,}14\left(430^2 - 419^2\right) \cdot 46} = 20 Н / мм^2.$$

Напруга зминання по площі зіткнення гайки зі станиною

$$\sigma_{см} = \frac{4Y}{\pi\left(D^2 - d^2\right)} = \frac{4 \cdot 6{,}75 \cdot 10^6}{3{,}14\left(670^2 - 430^2\right)} = 32{,}55 Н / мм^2.$$

*3.2 .4.Момент на натискному гвинті при прокатці*

При $\mu_p = 0{,}1$ и $\varphi = 5^\circ 40'$

$$M_B = Y\left(\mu_p \frac{d_n}{3} + \frac{d_{ср}}{2} tg\left(\alpha + \varphi\right)\right) =$$

$$= 6{,}75\left(0{,}1 \frac{0{,}43}{3} + \frac{0{,}425}{2} tg\left(26' + 5^\circ 40'\right)\right) = 2{,}50 МНм \left(250 кГм\right)$$

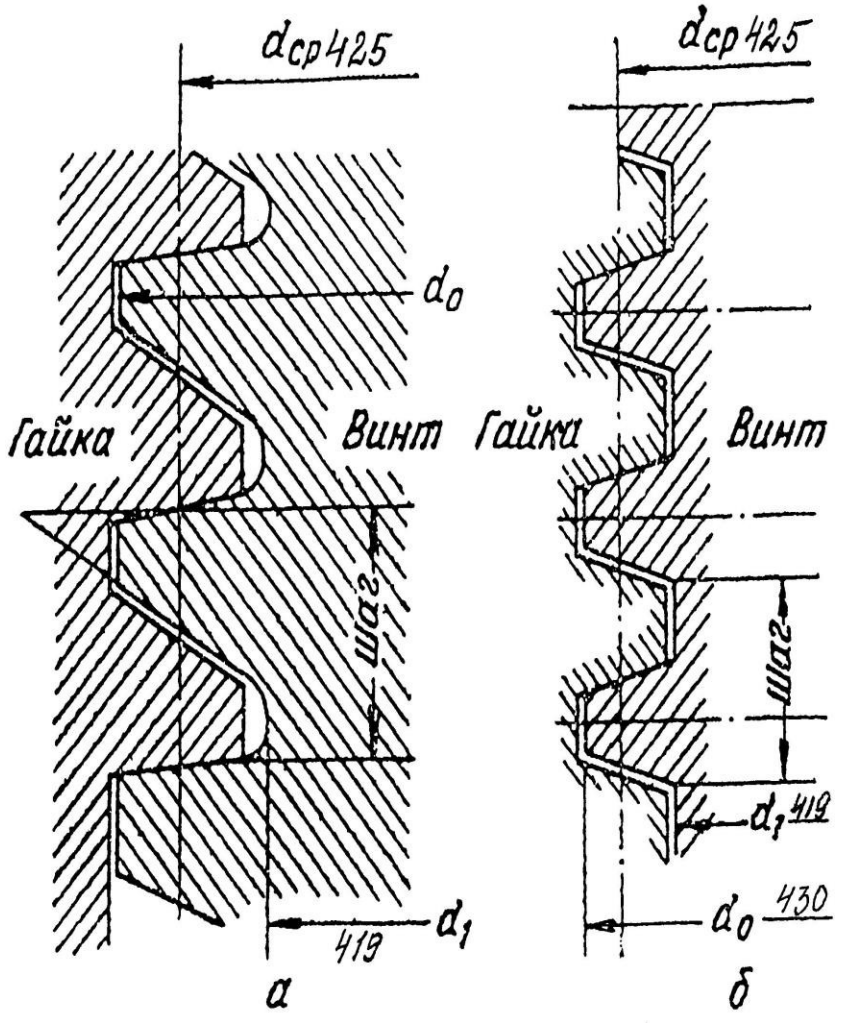



Рисунок 3.2 - Профиль резьбы нажимных винтов и гаек

*3.2.5 Статичний момент обертання*

$$M_{ст} = 2M_{В} / i\eta$$

Приймаємо: передаточне число двох глобоідних пара черв'ячної передачі між електродвигуном і натискним гвинтом: $i = 1122;$ КПД редукторів $\eta = 0,7$

$$M_{ст} = \frac{2 \cdot 250}{1122 \cdot 0,7} = 0,63 kHм(63 kГГ).$$

*3.2.6 Номінальний момент електродвигуна*

$$M_{н} = 9,56 \frac{N_{н}}{n_{н}} = 9,56 \frac{2 \cdot 46}{625} = 1,41 kHм(141 kГГ)$$

Таким чином, $M_{н} \rangle M_{ст};$ є запас по моменті

$$\frac{1,41 - 0,63}{1,41} \cdot 100 = 55,3 \%$$

*3.2.7 Пружна деформація гвинта*

$$f_{в} = \frac{4Yh}{\pi d_{в}^{2} E} = \frac{46,75 \cdot 10^{6} \cdot 500}{3,14 \cdot 419^{2} \cdot 2,15 \cdot 10^{5}} = 0,13 мм,$$

де $h$ - найбільша деформуюча довжина гвинта від підп'ятника до натискної гайки;

$h = 500 мм;$ $E = 1 \cdot 10^{5}\ Н / мм^{2}$

*3.2.8 Пружна деформація гайки*

$$f_{Г} = \frac{4YH}{\pi \left( D_{м}^{2} - d_{п}^{2} \right) E} = \frac{4 \cdot 6,75 \cdot 10_{6} \cdot 460}{3,14 \left( 670^{2} - 430^{2} \right) \cdot 10^{5}} = 0,13 мм$$

*3.3.9 Сумарна пружна деформація системи натискної гвинт-гайка*

$$f_{с} = k\left( f_{В} + f_{Г} \right) = 1,1\left( 0,13 + 0,13 \right) = 0,280,$$

де $k = 1,1$ - ураховує деформацію підп'ятника (10%).

*3.2.10 Розрахунок на міцність глобоідного вала*

$$M_{ч} = \frac{M_{к}}{i\eta} = \frac{250}{44 \cdot 0,72} = 7,9 kHм\left( 0,8 Тм \right)$$

Окружне зусилля на черв'яку

$$P_ч = \frac{2M_ч}{d_ч} = \frac{2 \cdot 7б9}{0,39} = 40,5kH$$

Осьове зусилля на черв'яку, рівне окружному зусиллю на черв'ячному колесі $d_k = 1600мм$:

$$A_ч = \frac{2M_ч}{d_к} = \frac{2 \cdot 250}{1,6} = 312,5kH(31T)$$

Радіальне зусилля при куті западин черв'яка: $\alpha = 22^\circ 30'$

$$R_ч = A_ч tg\alpha = 312,5 \cdot 0,414 = 129,4kH(13T)$$

Згинальний момент від сили $P_ч$ в площині її дії (при $l = 1355мм$)

$$M_1 = \frac{P_ч l}{4} = \frac{40,5 \cdot 1,355}{4} = 13,7kHм(1,3Tм)$$

$$M_2 = \frac{P_ч l}{4} + \frac{A_ч d_ч}{4} = \frac{129,4 \cdot 1,355}{4} + \frac{312,5 \cdot 0,39}{4} = 74,3kHм$$

Результуючий згинальний момент посередині черв'яка

$$M_{из} = \sqrt{13,7^2 + 74,3^2} = 75,6kHм(7,5Tм)$$

Нормальна напруга при $d_{вн} = 280мм$

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{0,1d_{нв}^3} = \frac{75,6 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 280^3} = 34,43H/мм^2$$

Запас міцності по вигині при $\sigma_з = 600H/мм^2$ (для сталі 40ХН)

$$n_\sigma = \frac{600}{34,43} = 17,4$$

Напруга крутіння

$$\tau = \frac{M_ч}{0,2d_{вн}^3} = \frac{7,9 \cdot 10^6}{0,280^3} = 1,79H/мм^2(18кГ/см^2)$$

Запас міцності по крутінню $[\tau] = 300H/мм_2$ (для сталі 40ХН)

$n_\tau = 300/1,79 = 166,7$

Наведений запас міцності

$$n = n_\sigma n_\tau / \sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2} = 17,4 \cdot 166,7 / \sqrt{17,4^2 + 166,7^2} = 17,3$$

Мінімальний запас міцності $[n]=2,5,\ n\rangle[n]$

Напруга крутіння при $d=230мм,\ R\tau=1,8$

$$\tau=\frac{R_\tau M_ч}{0,2d^3}=\frac{1,8\cdot 7,9\cdot 10^6}{0,2\cdot 230^3}=5,8Н/мм^2(58кГ/см^2$$

### 3.3 Розрахунок на міцність станини

Побудова нейтральної лінії А-А

Площа перетину

$$F=BH-b_1h_1-b_2h_2=F_1-F_2-F_3=$$
$$=2,1\cdot 1,17-0,67\cdot 0,46-0,44\cdot 0,71=1,9M^2$$

Статичний момент

$$S=F_1\frac{H}{2}-F_2\frac{h_1}{2}-F_3\left(\frac{h_2}{2}+h_1\right)=$$
$$=2,5\cdot 0,585-0,3\cdot 0,23-0,3\cdot 0,815=1,149м^3;$$

Ордината центра ваги

$$y_c=\frac{S}{F}=\frac{1,149}{1,9}0,6м=600мм;$$

$$У_A=У_1-У_2-У_3;$$

$$У_1=BH\left(\frac{H^2}{12}+\left(y_c-\frac{H}{2}\right)^2\right)=2,5\left(\frac{1,17^2}{12}+(0,6-0,585)^2\right)=0,29м^4$$

$$У_2=b_1h_1\left(\frac{h_1^2}{12}+\left(y_c-\frac{h_1}{2}\right)^2\right)=0,3\left(\frac{0,46^2}{12}+(0,6-0,23)^2\right)=0,05м^4$$

$$У_3=b_2h_2\left(\frac{h_2^2}{12}+\left(y_c-\frac{h_2}{2}\right)^2\right)=0,3\left(\frac{0,71^2}{12}+(0,6-0,355)^2\right)=0,03м^4$$

$$У_A=0,29-0,05-0,03=0,21м^4$$

Мінімальний момент опору

$$W_A=\frac{У_A}{y_C}=\frac{0,21}{0,6}=0,35м^3$$

[6]

Перетин У нижньої поперечки

$$F = BH = 0{,}74 \cdot 0{,}99 = 0{,}73 м^2;$$

$$y_c = 370 мм = 0{,}37 м;$$

$$W_1 = BH \cdot H^2 / 6 = 0{,}73 \cdot 0{,}74^2 / 6 = 0{,}066 м^3;$$

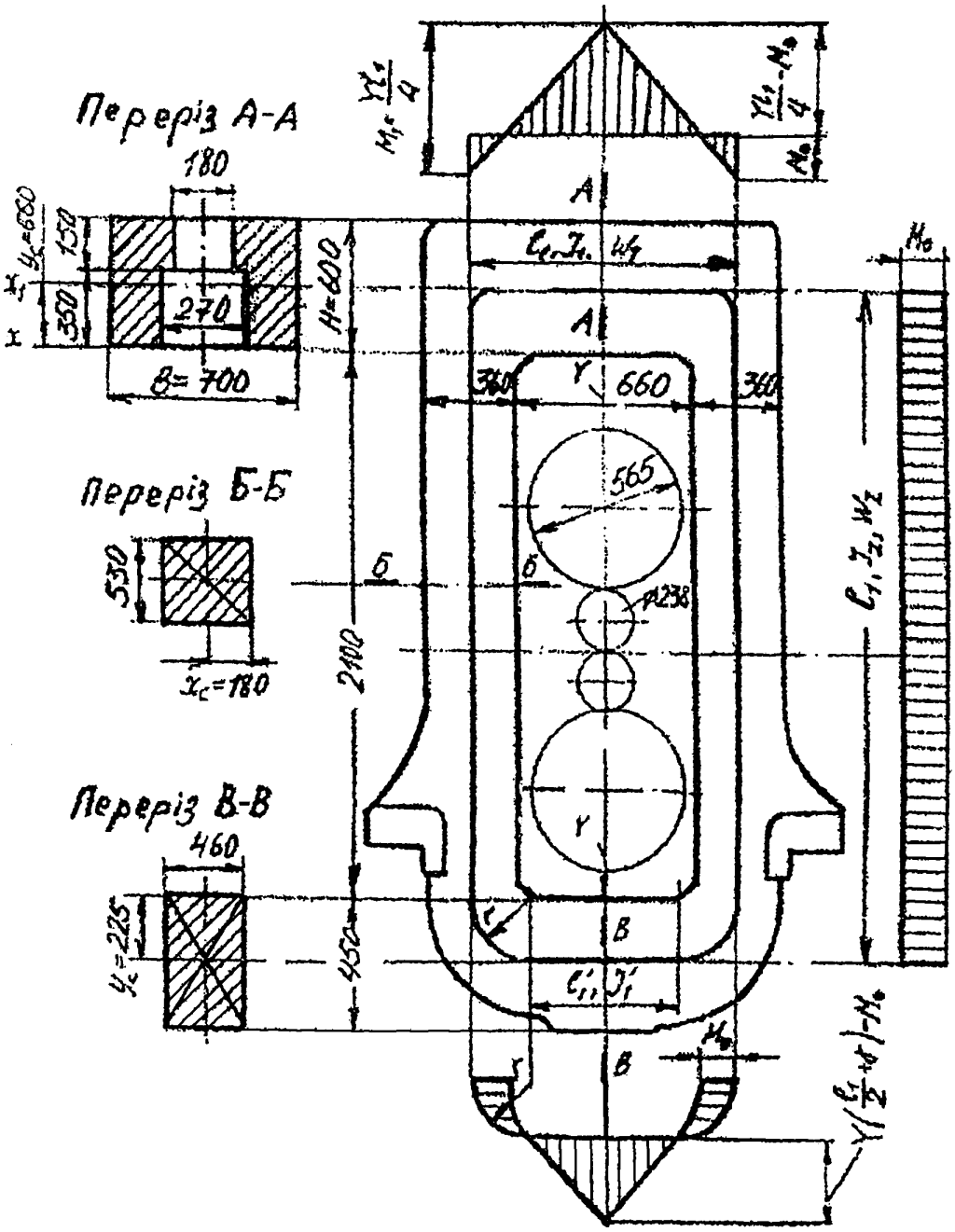



Рисунок 3.3 - До розрахунку станини стана кварто 1680

$$R_1 = \frac{У_В}{У_Б} = \frac{0{,}033}{0б015} = 2{,}2$$

Для одержання найбільшого значення $M_0$ беремо $У_1 = У_2$ для нижньої поперечки, тому що $У_В \langle У_А$

$$R_2 = \frac{l_2}{l_1} = \frac{5{,}795}{1{,}94} = 2{,}99;$$

$$M_1 = \frac{Y \cdot l_1}{4} = \frac{6{,}75 \cdot 1{,}94}{4} = 3{,}27МНм(327Тм);$$

$$M_0 = M_1 \frac{1}{2(1 + R_2 \cdot R \cdot R_1)} = 3{,}27 \cdot \frac{1}{2(1 + 2{,}99 \cdot 2{,}2)} = 0{,}22МНм(22Тм)$$

З огляду на закруглення в кутах твердості

$$R_3 = \frac{У_1}{У_3} = \frac{0{,}033}{0{,}02} = 1{,}65;$$

$$R_4 = \frac{r}{l_1} = \frac{0{,}495}{1{,}94} = 0{,}26;$$

$$M_0 = M_1 \frac{1 + 4R_4(1{,}15 \cdot R_3 \cdot R_4 + 1)}{2(1 + R_1 \cdot R_2 + \pi R_3 \cdot R_4)} =$$

$$= 3{,}27 \frac{1 + 4 \cdot 0{,}26(1{,}15 \cdot 1{,}65 \cdot 0{,}26 + 1)}{2(1 + 2{,}2 \cdot 2{,}99 + 3{,}14 \cdot 1{,}65 \cdot 0{,}26)} = 0{,}47МНм(47Тм)$$

Згинальні моменти в поперечці

$$M_п = M_1 - M_0 = 3{,}27 - 0{,}47 = 2{,}8МНм(280Тм)$$

Напруга вигину в перетині

$$\sigma_А = \frac{M_п}{W_А} = \frac{2{,}8 \cdot 10^9}{350} = 8Н / мм^2$$

нижньої - перетин В

$$\sigma_В = \frac{2б8 \cdot 10^9}{66} = 42{,}4Н / мм^2$$

Напруга розтягання в стійці

$$\sigma_5 = \frac{Y}{2F_2} + \frac{M_0}{W_2} = \frac{6{,}75 \cdot 10^6}{2 \cdot 0{,}46 \cdot 10^6} + \frac{0{,}9 \cdot 10^9}{0{,}03 \cdot 10^9} = 37{,}3Н / мм^2$$

Станина виготовлена з литої сталі 35Л и після відпалу і виливка має $\sigma_B = 500 H/мм^2$

Запас міцності

$$n_\sigma = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} = \frac{500}{42,4} = 11,8$$

З урахуванням наявності концентрації напруг під натискну гайку, приймаючи коефіцієнт концентрацій $k = 2,8$, запас по втомленої міцності:

$$n_f = \frac{1}{2k} \cdot \frac{\sigma_B}{\sigma} = \frac{1}{2 \cdot 2,8} \cdot \frac{500}{8} = 11,2$$

Припустимий мінімальний запас для станин по втомленої міцності $[n_f] = 1,5.$

Деформація станини у вертикальному напрямку, приймаючи $У = 2б1 \cdot 10^5 H/мм_2$:

а) Розтягання кожної стійки силою $Y/2$

$$f_1 = \frac{Y \cdot l_2}{2EF_2} = \frac{6,75 \cdot 10^6 \cdot 5792}{2 \cdot 0,46 \cdot 10^6 \cdot 2,1 \cdot 10^5} = 0,2мм;$$

б) Прогин двох поперечок від вигину

$$f_2 = \left( \frac{Y \cdot l_1}{6} - M_0 \right) \frac{l_1^2}{4EУ_1} =$$

$$\left( \frac{6,75 \cdot 10^6 \cdot 1940}{6} - 0,47 \cdot 10^9 \right) \frac{1940^2}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,21 \cdot 10^{12}} = 0,03мм;$$

в) Деформація двох поперечок від дії поперечних сил, при $G = 0,75 \cdot 10^5 H/мм^2$

$$f_3 = 1,2 \frac{Y \cdot l_1}{2GF_1} = 1,2 \frac{6,75 \cdot 10^6 \cdot 1940}{2 \cdot 0,75 \cdot 10^5 \cdot 0,73 \cdot 10^6} = 0,14мм.$$

Сумарна деформація станини

$$f_{cm} = 0,2 + 0,03 + 0,14 = 0,37мм.$$

З розрахунку видно, що деформація станини лежить у межах, що допускаються.

### 3.4 Розрахунок на міцність шпинделів

Дано: Крутний момент $M_{кр} = kHм;$ згас нахилу шпинделя $\alpha = 0^{\circ}$. Перетин $A'O$ буде відповідати перетину $AO$:

$$b = 2\sqrt{R^2 - r^2} = 2\sqrt{230^2 - 105^2} = 410мм;$$

$$f = \frac{b}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{c}{b}\right)^3}{1 - \left(\frac{c}{b}\right)^2} = \frac{410}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{110}{410}\right)^3}{1 - \left(\frac{110}{410}\right)^2} = 143мм.$$

Момент, що скручує одну щоку головки шпинделя:

$$M = \frac{M_{кр}}{2} = \frac{300}{2} = 150МНм(15Тм).$$

Зусилля $P$, що діє на щоку головки шпинделя:

$$P = \frac{M}{f} = \frac{150}{0{,}143} = 1048МН(104Т).$$

Заміняючи сегмент перетину $AO$ рівновеликою трапецією, одержимо:

$b_1 = 190мм;\ b_2 = 110мм;\ h = 125мм;\ \eta = 0{,}255$.

$$W_{кр} = \eta(b_1 + b_2)h^2 = 0{,}255 \cdot 300 \cdot 125^2 = 12 \cdot 10^5 мм^2.$$

Напруга крутіння в перетині $AO$

$$\tau = \frac{M}{W_{кр}} = \frac{150 \cdot 10^6}{12 \cdot 10^5} = 125Н/мм^2(1250кГ/см^2).$$

Напруга крутіння в тілі шпинделя діаметром $d = 270мм$

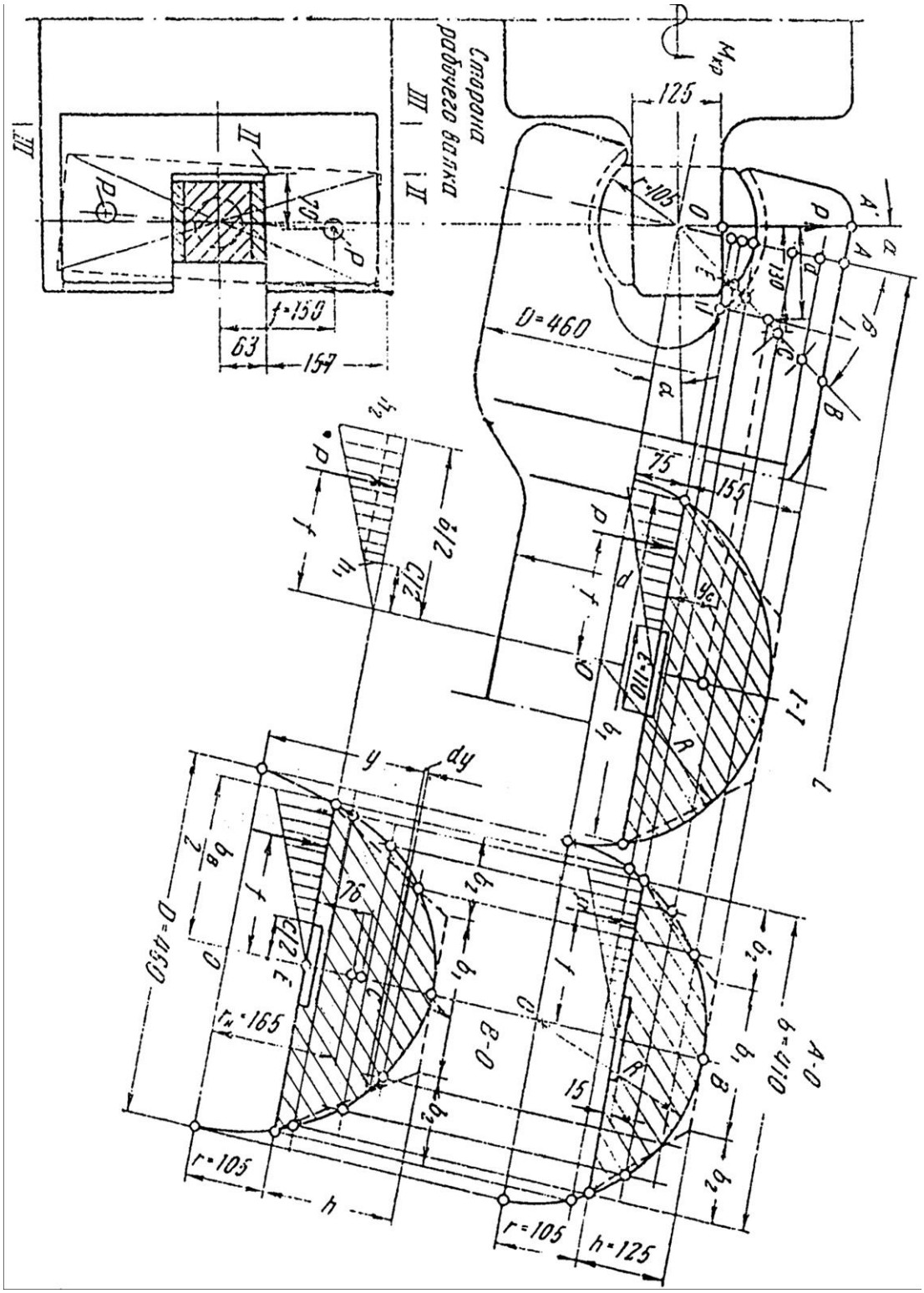



Рисунок 3.4 - До розрахунку шпинделя

$$\pi = \frac{M_{кр}}{0{,}2d_3} = \frac{300 \cdot 10^6}{0{,}2 \cdot 270^3} = 63{,}5 Н/мм^2 \left(635 кГ/см^2\right).$$

Кут закручування тіла шпинделя

На довжині $L = 2000 мм$

$$\varphi = \frac{M_{кр} L}{GJ_p} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{300 \cdot 10^6 \cdot 2000 \cdot 32}{0{,}8 \cdot 3{,}14 \cdot} 270^4 \cdot \frac{180}{3{,}14} = 0{,}82^\circ.$$

На один метр довжини шпинделя

$$\varphi = \frac{0{,}82}{2} = 0{,}41^\circ.$$

Припустимо $[\varphi] = 0{,}5^\circ$, на один метр довжини.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків

| Вузол | $M$, $МНм$ | $P$, $МН$ | $G$, $Н/мм^2$ | $\tau$, $Н/мм^2$ |
|---|---|---|---|---|
| Валки | | | | |
| робочі | 2,04 | 0,72 | 11,02 | 51,11 |
| опорні | 6,63 | 12,78 | 41,4 | |
| Натискні | | | | |
| гайка | 2,50 | 13,5 | 34,43 | 5,8 |
| гвинт | 5,56 | 13,5 | 56,5 | 0,468 |
| Станина | 2,8 | | 42,4 | |
| Шпиндель | 150 | 1048 | | 125 |

# 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

## 4.1 Ступінь безпеки процесу гарячої прокатки штаби, рівня його механізації та автоматизації

Цех гарячої прокатки металу у своєму составі має ділянки з різними шкідливими умовами праці. Одним з основних ділянок цеху є стан гарячої прокатки, на якому роблять гарячу обробку металу тиском**.** Стан гарячої прокатки також має безліч ділянок: пічна, чорнова і чистова група клітей, хвостова частина.

Технологічний процес на БШСГП 1680 механізований і автоматизований, операції з металом здійснюються без особистої участі обслуговуючого персоналу.

На виробництві застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці: огороджувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною і небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або не правильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів – відключення устаткування при порушенні контрольованого параметра (температури, тиску, переміщення, величини струму або напруги, зусилля); гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машин і устаткування; блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою або небезпекою, що наступила (світлова, звукова, кольорова і знакова). Велике значення має правильний розподіл функції між людиною і машиною для зменшення ваги праці.

Як оператор стана так і вальцювальник стана 7 розряду, є працівниками стана, які відповідають за ведення технологічного процесу і основним місцем роботи є пост керування станом на якому вони проводять 81,34% у зміну, що становить 6,5 ч., а також 5,4% робітника часу на

перевалочних роботах, переважно ручній роботі, що становлять 0,43 ч. вальцювальники стана 5 і 6 розрядів попадають під категорію робітників, які виконують всі побічні роботи, переважно ручної праці: підготовка стана до перевалки, перевалка, збирання обрізи, і настроювання допоміжного устаткування стана. По даним комбінату вальцювальники 5 і 6 розрядів під впливом ручної праці перебувають 37,3% робітника часу, що становить 2,98 ч. і 46,4% робітника часу при механізованій роботі, що становить 3,7 ч.

Дані показники роботи робітників показують, що на стані використають професії змішаної праці.

Рівень механізації праці визначається з вираження:

$$B = M / (M + R) \cdot 100\% \qquad (4.1)$$

де: M – сума людино-годин механізованої праці; R - сума людино-годин ручної праці.

Рівень механізації праці для оператора:

$$B_{оп} = 6,5 \cdot 100 / (6,5 + 0,43) = 93,8\%.$$

Рівень механізації праці для вальцювальника:

$$B_{вал.} = 3,7 \cdot 100 / (3,7 + 2,98) = 55,4\%.$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок рівня механізації чорнової й чистової групи клітей НШСГП 1680

| № п/п | Професія робітників | Розряди | Штат робітників у зміну | Кількість відпрацьованих людино-годин у зміну | | | % механізованої праці |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Вручну, година | За допомогою машин, година | Усього, годин | |
| 1 | Вальцювальник | 7 | 1 | 0,43 | 6,5 | 6,93 | 55,4 |
| 2 | Вальцювальник | 6 | 1 | 2,98 | 3,7 | 6.68 | 55,4 |
| 3 | Вальцювальник | 5 | 1 | 2,98 | 3,7 | 6,68 | 55,4 |
| 4 | Оператор | 6 | 1 | 0,43 | 6,5 | 6,93 | 93,8 |
| 5 | Оператор | 5 | 3 | 0,43 | 6,5 | 6,93 | 93,8 |

## 4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки ставляться:

- інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на зорові органи людини (300 - 4000 Вт/м);
- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 83,3% робітника часу впливають на внутрішні органи людини;
- пил, виділюваний при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, які протягом 91,4% робітника часу впливають на слизову оболонку органів подиху, що приводять к захворюванням;

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

| № п/п | Фактори виробничого середовища і трудового процесу | Норм. знач. (ГДК, ГДУ) | Фактич. знач. | III клас вредн. і опасн. усл. і характер праці | | | Час дії фактора за зміну,% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | I | II | III | |
| 1. | Шкідливі хімічні речовини, мг/м$^3$ : | | | | | | |
| | I клас небезпеки | | | | | | |
| | Ангідрид хромовий | 0,01 | 0,06 | | | 6,0 | 90 |
| | Оксид марганцю | 0,05 | 0,39 | | | 7,8 | 90 |
| | II клас небезпеки | | | | | | |
| | Акролеїн | 0,2 | 0,66 | | 3,3 | | 90 |
| | III-IV клас небезпеки | | | | | | |
| | Ангідрид сірчистий | 10 | 16,83 | 1,63 | | | 90 |
| | Вуглецю оксид | 20 | 25 | 1,25 | | | 90 |
| 2. | Масла мінеральні | 5 | 6,78 | 1,36 | | | 90 |
| | Пил переважно фиброгеного дії, мг/м$^3$ | 4 | 26,3 | | | 6,58 | 90 |
| 3. | Вібрація (загальна й локальна), дБ | | | | | | |
| 4. | Шум, дБ | 80 | 105 | | | 25 | 100 |
| 5. | Інфразвук, дБ | | | | | | |
| 6. | Ультразвук, дБ | | | | | | |
| 7. | Неіонізуюче випромінювання: | | | | | | |
| | - радіочастотний діапазон, В/м | | | | | | |
| | - діапазон промислової частоти, кв/м | | | | | | |
| | - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м$^3$ | | | | | | |
| 8. | Мікроклімат у приміщенні: | | | | | | |
| | - температура повітря, $^o$C | 27 | 32,1 | | 5,1 | | 100 |
| | - швидкість руху повітря, м/с | 0,1-0,2 | <0,3 | | | | |
| | - відносна вологість повітря, % | 55 | 32 | | | | |
| | - інфрачервоне випромінювання Вт/м$^3$ | 140 | 611 | | 611 | | 83 |
| 9. | Температура навколишнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), $^o$C | | | | | | |
| | улітку | | | | | | |
| | узимку | | | | | | |
| 10. | Атмосферний тиск | | | | | | |
| 11. | Вага і напруженість праці | | | | | | |

Для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на зорові органи робітників раціонально використати світлові екрани (фільтри), які безпосередньо встановлюються на постах чорнової і чистової групи, де оператори і вальцювальники візуально контролюють процес прокатки.

З таблиці 4.2 видно, що робота операторів, вальцювальників ставиться до робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці. Відповідно до гігієнічної класифікації умов праці вальцювальник має право на пільгових умовах на: пенсію по старості на пільгових умовах за списком №1; додаткова відпустка 24 дня; надбавка до зарплати 24%, молоко. Ст. 141 КЗОТ містить загальні вказівки про порядок видачі за рахунок підприємства спецодягу і запобіжних пристосувань (окуляри, маски, респіратори, мило і т.п.) всім працюючої на особливо шкідливих роботах з перебуванням у ненормальній температурі.

## 4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії

### *4.3.1 Об'ємно-планувальні рішення*

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання і відводу стічних і поверхневих вод. Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шумів і інших шкідливих факторів. Передбачає міри, що зменшують їхній несприятливий впливи на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі, і робочій зоні приміщень.

### *4.3.2 Освітлення у цеху*

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

Згідно СНіПу-4-79 роботи, виконувані персоналом при прокатки слябів, ставляться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для висвітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості висвітлення. Для загального висвітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального висвітлення становить 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого висвітлення використають аварійне висвітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного висвітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

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

Для виробничих приміщень, у яких виробляються точні роботи, установлені три розряди з мінімальними нормами при комбінованому висвітленні лампами накалювання: I розряд – для робіт, що вимагають розрізнення деталей розміром 0,1мм і менш - 400 –1500лк; II розряд – для робіт потребуюче розрізнення деталей розміром більше 0,1 до 0,3мм - 300 – 1000лк; III розряд – для робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 0,3 до 1мм - 200 – 500лк; IV розряд – для робіт малої точності, що вимагають розрізнення деталей розміром від 1,0 до 10мм - 100 –150лк; V розряд – для грубих робіт потребуючого розрізнення деталей розміром більше 10мм – 100лк.

### *4.3.3 Мікроклімат*

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

Для огородження припливу холодного повітря під час в'їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20 $^{o}$C.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилу – незначне. Ділянка стана БШСГП 1680 ставиться до Іа групи: для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції:

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використаються також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), те передбачена система приточной вентиляції.

### *4.3.4 Санітарно - побутові приміщення*

Створення прийнятних санітарно-побутових умов у приміщеннях у значній мірі попереджають захворювання працюючого персоналу. Будинок побутових приміщень 3-х поверхове. Висота поверхів більше 3-х метрів. Відношення площі вікон до площі підлоги 1:5 ... 1:9, що забезпечує достатню освітленість приміщень. Робочий і чистий одяг зберігається в закритих подвійних шафах. Ширина проходів між шафами не менш 1м. Душові кабіни площею 6,8 м$^2$ на одну душову установку.

## 4.4 Електробезпека

Електробезпечність – це комплекс мер, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом.

Вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідку і навіть привести до смерті. Небезпека збільшується тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлене за допомогою наших органів почуттів. Імовірність смертельного результату при поразках електричним струмом велика. Великий вплив робить зовнішнє середовище.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП 111-33-76 ставиться до зони класу В-16 – це зона, розташовані в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВЖ із повітрям не утворяться, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушенні ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах .

Фактичне значення струму на ділянці I = 5,9 А, напруги відповідно U= 220-380 В. Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

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

Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або

вплив при помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, які випадково оказались під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, які випадково оказались під напругою; при впливі крокових напруг і др.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне устаткування: електричний привод (включаючи пускорегулюючу апаратури), електроустаткування під'їмо-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Міри захисту від поразки електричним струмом

У цехах з підвищеною температурою повітря використають наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до встаткування, які випадково оказались під напругою;

в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огородження і ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, які оказались випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпека поразки дотику до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового проведення; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проведеннями,

викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більше 0,2 с, при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі з появою напруги на корпусі і інших металевих частинах, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основного ставляться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін.

## Вибір схеми мережі

Прокатний цех ставиться до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує $32^0$ С) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК) струмопровідним пилом, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на, вищевикладене зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

Схема мережі, а отже і режим нейтрали джерела струму, що живлять цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпроводна мережа із глухозаземленною нейтралью, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від

чотирьохпроводної мережі 380 В можна живитися як силове навантаження – трьохфазне або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів.

### 4.5 Пожежна та техногенна безпеки

Приміщення цеху по ОНТП 24-86 ставляться до категорії «Г» по пожежобезпечності, це викликано тим, що в цеху має місце наявність пожежонебезпечних факторів, пов'язаних із застосуванням газових сумішей IV групи для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізі металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах запаляться. Для гасіння виниклих пожеж передбачені пожежні щити, розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені системи блокування поширення пожежі.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідна число сходових кліток і пожежних сходів.

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії виробництва, площі і висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленного матеріалу. Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи. У цеху застосовується пожежне водопостачання в якому витрата води на зовнішнє водопостачання 15 л/с.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну і повітряно-механічну піни, пісок.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються і пінні вогнегасники типу ОХП-10; ОВП-5; ОВП-10, у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах.

### 4.6 Заходи щодо захисту навколишнього середовища

Цех гарячої прокатки сортового металу є основним споживачем води (72 млн.м$^3$/рік) і є джерелом забруднення води окалиною і маслами. Застосовувані методи очищення маслоокалинозмістовних вод, у тому числі з використанням реагентів приводить до утворення замасленого (до 10-20%) осаду дрібнодисперсної окалини. Замаслений і обводнений залізовмісний шлам, втрачаючи сипкість, злежується і налипає на ринви, бункери та дозуючі пристрої. Тим часом окалини є коштовною металургійною сировиною, використовуваною в сталеплавильному виробництві і порошковій металургії.

Після введення в експлуатації очисних споруджень зворотного циклу водопостачання, запропоноване введення неіоногених поверхньоактивних речовин (НПАВ), що у свою чергу приведе до зневоднювання і знемаслювання окалини. З погляду санітарії виробництва потрібно відзначити, що після введення НПАВ у воду подавану на гарячепрокатний стан зменшиться виділення пилу, за рахунок змочування поверхневого шару (шаруючи окалини) смуги і що поліпшить змив на гідрозбивах для утилізації. Також необхідно відзначити, що введення НПАВ може вплинути на зменшення витрати поверхні валків.

Роблячи виводи, можна відзначити, що промислові дослідження очищення окалинозмістовних вод від масел із застосуванням НПАВ показали, що кількість у тонкодисперсної (менш 100мкм) окалині за три

місяці збирається в 4-5 разів менше, швидкість зневоднювання виросла в 2 рази.

## 4.7 Інженерна розробка медичного захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

У термічному відділенні прокатного цеху обсягом 5000 $м^3$ для нагрівання стана встановлено нагрівальні колодязі з тепловиділяючою поверхнею площею 104,9 $м^2$. Температура усередині печі $t_{вн} = 1270^0$С. Стінки печей цегельні із шамоту ізольовані діатановою цеглою товщиною $\delta = 390$ мм. Продуктивність печі 9364 кг/с. Початкова температура металу, що витягає з печі, $t_{поч} = 1250^0$С. До моменту вивезення з відділення метал остигає до $t_{кін} = 1050^0$С. Температура зовнішнього повітря $t_{зов} = 26^0$С. Температура повітря у відділенні $t_{від} = 25^0$С. Температура повітря, що йде, $t_{ух} = 35^0$С.

Знайдемо загальне тепловиділення в термічному відділенні за годину. Основні джерела теплоти – нагрівальні печі і метал, що остигає (іншими джерелами зневажаємо).

Рішення

Коефіцієнт тепловіддачі стінки:

$$R = 1/(1/\alpha_1 + \beta/\lambda + 1/\alpha_2) ; \qquad (4.2)$$

де: $\alpha_1$; $\alpha_2$ – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях печі;

$\lambda$ - коефіцієнт теплопровідності шамотної цегли;

тоді

$$R = 1 / (1/ 397,6 + 0,39/44,4 + 1 / 221) = 66,6 \text{ Дж/с}.$$

Тепловиділення від нагрівальних печей:

$$Q_n = R\,(t_{вн} - t_{від})S\ ; \qquad (4.3)$$

де: R - коефіцієнт тепловіддачі стінок печі, Дж/с;

S - сумарна площа тепловиділяючих поверхонь колодязя, м$^2$;

$t_{вн}$ – температура усередині колодязя, °С;

$t_{від}$ – температура повітря у відділенні, °С;

$$Q_n = 66{,}6 \cdot (1270 - 25) \cdot 104{,}9 = 8697993 \text{ Дж/с.}$$

Знаходимо тепловиділення металу, що остигає, Дж/с:

$$Q_м = PC(t_{поч} - t_{кін}); \qquad (4.4)$$

де: P – сумарна продуктивність колодязів, г/ч;

C - теплоємність металу,

$t_{поч}$ - початкова температура металу, що витягає з колодязя, $^o$С;

$t_{кін}$ - температура металу до моменту вивозу з відділення, $^o$С;

тоді

$$Q_м = 9364 \cdot 0{,}14\ (1250 - 1050) = 261{,}9 \text{ кДж.}$$

Далі знаходимо загальну кількість теплоти, що виділяється у відділенні від нагрівальних печей і металу, що остиває.

$$Q_{заг.} = Q_n - Q_м = 8697993 + 261912 = 8959{,}9 \text{ кДж.}$$

Приймаємо втрати теплоти через огородження відділення рівними 20% від загального надходження теплоти. Тоді надлишкова кількість теплоти буде дорівнює:

$$Q_{над.} = Q_{заг} \cdot 0{,}8 = 8959905 \cdot 0{,}8 = 7167924 \text{ Дж.}$$

Кількість повітря, який необхідно ввести для видалення надлишкової теплоти, м$^3$/год:

$$V_{пов}= 3550 \cdot Q_{над} / C_в(t_{ух} – t_{зов})= 3,6 \cdot 7167924 / 1,256(35 – 26)=2054500 м^3/г$$

де: $C_в$ – об'ємна теплоємність повітря, кдж/(м$^3$К);

$t_{ух}$ – температура повітря, що йде, $^oC$;

$t_{зов}$ – температура зовнішнього повітря, $^oC$.

Знаходимо кратність повітрообміну:

$$К = V_{пов} / V_{прим}, \qquad (4.5)$$

де: $V_{прим}$ – обсяг приміщення, м$^3$;

$$К = 2054500 / 397360 = 5,2 ,$$

тобто повітря в приміщенні обмінюється 5 разів.

У розділі охорони праці мною були проаналізовані шкідливі і небезпечні фактори, що впливають на людину, і є присутніми у процесі прокатки в даному цеху, а також існуючої міри захисту від перерахованих вище факторів.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.

2. *Середа Б.П.* Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.

3. Василёв Я.Д., Сафъян М.М. Производство полосовой и листовой стали : учебник для вузов. Киев : Вища школа, Головное издательство, 1976. 192 с.

4. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства : учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311 с.

5. Сафъян М.М., Мазур В.Л., Сафъян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351 с.

6. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. /– Запорожье ЗГИА, 2008. 224 с.

7. Чащин В. В., В. А. Капитанов, Попов Е. С. Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне. *Производство проката.* 2008. № 8. С. 17-23.

8. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

9. Середа Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.

10. Середа Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

11. Середа Б.П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.

12. Дубовский Б. А., Никифоров Б. А., Радионова Л. В. Иследование влияния технологических параметров горячей прокатки на структуру низкоуглеродистых и низколигированных марок стали. *Производство проката*. 2006. №10. С. 15-20.

13. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2004. 31 с.

14. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. учебник. изд. 2-е, дополненное. Львов : Афиша, 2000. 350 с.

15. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. Киев : Техника, 1991. 285 с.

16. Панасейко С. П. Гигиена труда и производственная санитария : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 232 с.

17. Панасейко С. П. Методические указания для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Охрана труда» (раздел «Вентиляция и кондиционирование»). Запорожье : ЗГИА, 2002. 45 с.

18. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев : Высшая шк., 1978. 328 с.

19. Рижков В. Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності „Металургія чорних металів" спеціалізації „Охорона праці та екологія металургійного виробництва" денної та заочної форм навчання / Укл.: В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2004. 60 с.