

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра обробки металів тиском

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) рівень _____
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Розробка режиму деформації штаб 0,7x1000 мм зі сталі 08Ю на
неперервному стані холодної прокатки 1680»

Виконав: студент 5 курсу, групи МЕТ-17-3бз

Кутєпов Сергій Олександрович _____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності (напряму підготовки)

136 Металургія _____
(шифр і назва)

спеціалізація

_____ (шифр і назва)

освітньо-професійна програма

металургія _____
(шифр і назва)

Керівник _____ Ю. О. Белоконь _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

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

Кафедра обробки металів тиском
Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)
Напрямок підготовки / Спеціальність 136 Металургія
(шифр і назва)
Спеціалізація _____
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ОМТ
Ю.О. Белоконь

“ _____ ” _____ 20__ року

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

Кутепов Сергій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка режиму деформації штаб 0,7х1000 мм зі сталі 08Ю на неперервному стані холодної прокатки 1680»

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “17” 01 2022 року № 90-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Кінцевий розмір штаби 0,7х1000 мм. Матеріал – сталь 08Ю. Об'єкт – неперервний стан холодної прокатки 1680.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат; Вступ; 1 Загальна частина; 2 Технологічна частина; 3 Механічна частина; 4 Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Література.

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

Презентація до 15 слайдів (Мета та завдання роботи, Схема технології виробництва штаби в цеху, Схема неперервного стана холодної прокатки, Заходи щодо реконструкції, Деформаційні та енергосилові параметри прокатки, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
1	Белоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	
2	Белоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	
3	Белоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	
4	Белоконь Ю.О., доцент, д.т.н.	

7. Дата видачі завдання 27 січня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна частина		
2	Технологічна частина		
3	Механічна частина		
4	Охорона праці та техногенна безпека		
5	Реферат, Вступ, Висновки		
6	Оформлення пояснювальної записки		
7	Підготовка презентаційного матеріалу		

Студент

С.О. Кутєпов
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Ю.О. Белоконь
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 94 сторінок, 12 рисунків, 14 таблиць, 34 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: проект реконструкції неперервний стан холодної прокатки 1680 ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи: розробка заходів з метою підвищення ефективності роботи противозгину в кліті №4 та покращення якості профілю штаби (зменшення неплоскості).

Спеціальна частина: розрахунок режиму деформації та енергосилових параметрів прокатки штаби 0,7x1000 мм зі сталі 08Ю.

У даній кваліфікаційній роботі проводиться розробка прокатки холоднокатаної штаби з маловуглецевої сталі 08Ю із гарячекатаної штаби. Проводиться розрахунок режимів обтисків, розрахунок силових параметрів прокатки, розрахунок крутних моментів прокатки.

При вирішенні технічного завдання у роботі пропонується для підвищення якості поперечного профілю штаби шляхом застосування нових конструкцій плунжерів гідравлічних пристроїв протизгину валків. Застосування нової конструкції опорного вузла зі сферичними поверхнями контакту плунжера і подушки дозволяють поліпшити вплив на міжвалковий зазор. При прийнятих параметрах пристрою обтисків крайок штаби на ділянках може поменшати в 1,19 рази, що сприяє вирівнюванню товщини (і форми) штаби по її ширині.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, НСХП 1680, ПІДКАТ, ОБТИСК, ВАЛКИ, ШТАБА, ПРОФІЛЮВАННЯ, ШВИДКІСТЬ ПРОКАТКИ, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, СИЛА ПРОКАТКИ, ПРОТИВОЗГИН.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Загальна характеристика ЦХП-1	7
1.2 Технічна характеристика устаткування НСХП 1680	10
1.3 Методи регулювання міжвалкового розтвору	19
1.4 Розробка заходів щодо реконструкції	21
1.5 Розробка заходів по підвищення ефективності взаємодії робочих валків та системи протизгину	24
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	29
2.1 Розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби товщиною 0,7x1000 мм зі сталі 08Ю на неперервному стані холодної прокатки 1680	29
2.2 Розрахунок продуктивності прокатного стану НСХП 1680	46
3 МЕХАНАНІЧНА ЧАСТИНА.....	50
3.1 Розрахунок на міцність станини робочої кліті	50
3.2 Розрахунок тихохідного натискного механізму	58
3.3 Розрахунок робочих і опорних валків	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	71
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів процесів виробництва	71
4.2 Розробка заходів захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів	75
4.3 Електробезпека	80
4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки	84
4.5 Розрахунок штучного освітлення	88
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	92

ВСТУП

Найважливішою галуззю промисловості країни є чорна металургія. Незважаючи на розвиток нових матеріалів, наприклад, пластмас, чорні метали зберігають роль основного конструкційного матеріалу.

Прокатне виробництво є кінцевою стадією всього металургійного циклу. Через прокатні цехи проходить близько 90-95% всього виплавленого металу. Прокатна продукція застосовується практично у всіх галузях промисловості країни у вигляді готових виробів, або у вигляді заготовок для подальшого переділу.

Публічне акціонерне товариство металургійний комбінат «Запоріжсталь» - найбільший індустріальний гігант, продукція якого добре відома в багатьох країнах світу. Комбінат є виробником високоякісної металопродукції - чавуну, сталі, листового прокату, гнутих профілів, жерсті, будівельних матеріалів, товарів народного споживання.

Спираючись на багаторічний досвід свого розвитку, враховуючи неухильно зростаючі вимоги до якості продукції, а також світові тенденції розвитку металургії, на комбінаті постійно проводиться модернізація устаткування і вдосконалення технологічних процесів. Це дозволяє забезпечити виробництво продукції в повній відповідності до вимог національних стандартів і успішно конкурувати з провідними металовиробниками на світовому ринку.

На ПАТ «Запоріжсталь» розроблена програма розвитку і вдосконалення виробничих потужностей:

- 1) Реконструкція цеху холодної прокатки № 1 по холоднокатаного металу.
- 2) Реконструкція відділення білої жерсті з установкою сучасного обладнання для виробництва жерсті.

Висока якість продукції комбінату ПАТ «Запоріжсталь», дозволяє мати постійних споживачів і розширювати географію поставок продукції.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Загальна характеристика ЦХП-1

Призначення цеху: виготовлення товарної продукції у вигляді холоднокатаних листів і рулонів, а також передільних холоднокатаних рулонів для цеху жерсті і цеху гнутих профілів, травлених гарячекатаних листів.

Цех має у своєму складі наступні відділення: травильне, прокатне, термічне, дресирувальні, нержавіючої сталі, підготовки валків, і відділення жерсті (рис. 1.1).

Сортамент листів, що виготовляються: товщина 0,5-2,0 мм; ширина 850-1500 мм; довжина 1400-3950 мм.

Сортамент вихідних гарячекатаних штаб: товщина 2-4 мм, ширина 850-1530 мм.

Травильне відділення містить у собі три травильні лінії № 1,2,3, у яких відбувається процес видалення окалини з поверхні штаб.

Лінії № 1 і 2 спеціалізуються на травленні штаб з вуглецевої сталі; № 3 – штаб з нержавіючої сталі.

Травильні лінії мають у своєму складі по 4 травильних ванни й допоміжне устаткування: розмотувачі, окалинолаmacher, моталки, зварювальні (зшивні) машини, ножиці для обрізки кінців штаб і ін.

У травильній лінії № 1 є дресирувальна кліть дуо для полегшення видалення окалини.

На результати травлення впливає склад і товщина шару окалини, які, у свою чергу, залежать від умов гарячої прокатки і змотування штаб у рулони, марки сталі, а також концентрації кислоти в травильних розчинах.

Після гарячої прокатки метал прохолоджується 2-3 доби. Температура рулонів перед травленням повинна бути не вище 150°C.

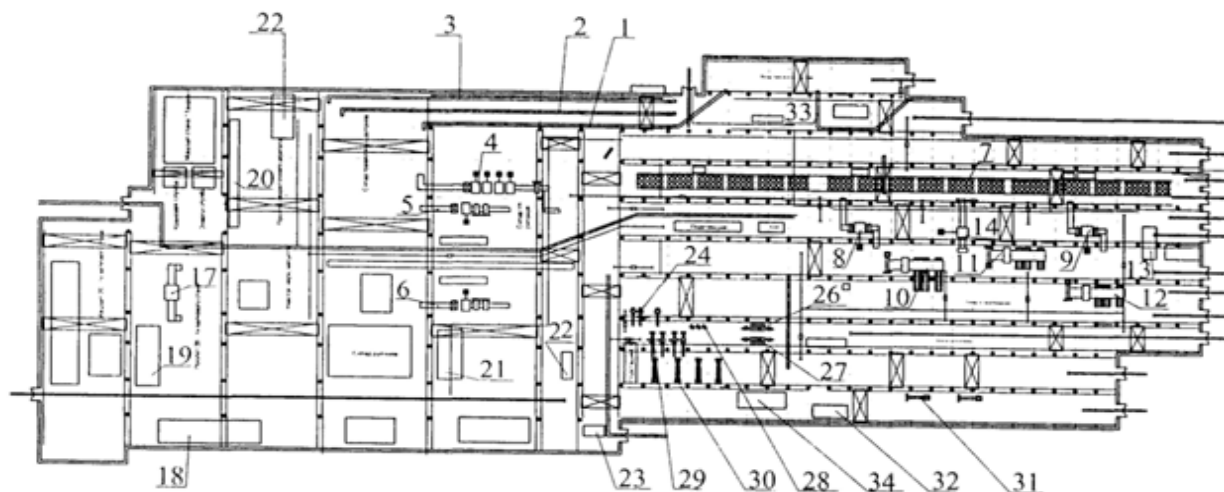


Рисунок 1.1 – Схема розміщення обладнання цеху холодної прокатки №1 з безперервним чотирьохклітьовим станом 1680: 1 - травильних лінія № 1; 2 - травильних лінія №2; 3 - травильних лінія № 3; 4 - безперервний чотирьохклітьовий стан 1680; 5 - реверсивний стан 1680; 6 - реверсивний стан 1200; 7 - ковпакові одностопні печі; 8 - дресирувальний стан 1700 № 1; 9 - дресирувальний стан 1700 № 2; 10 - агрегат поперечного різання №1; 11 - агрегат поперечного різання № 2; 12 - агрегат поперечного різання №3; 13 - агрегат поперечного різання № 4; 14 - кліть кварто; 17 - 20 - валковий стан; 18 - механічна майстерня; 19 - В / ш. майстерня 20-ти валкового стана; 20 - агрегат шліфування смуги; 21 - В / Ш. ділянку; 22 - агрегат порізу; 23 - комора; 24 - агрегат мийки; 26 - 4-х клітьовою стан 450 ОБЖ; 27 - 4-х клітьовою стан 650 ОБЖ; 28 - агрегат розпуску ОБЖ; 29 - стан дуо №1,2,3,4 ОБЖ; 30 - агрегати гарячого лудіння ОБЖ; 31 - агрегат поздовжнього різання; 32 - майстерня енергетиків; 33 - підземний конвесер; 34 - склад запчастин механослужби.

Травлення штаб ведеться в розчинах сірчаної кислоти каскадним методом.

До складу прокатного відділення входять безперервний чотирьохклітьовий стан 1680, а також реверсивні стани 1680 і 1200; ділянка підготовки валків.

Відпал холоднокатаних рулонів проводиться в одностопних ковпакових печах у захисній атмосфері. Максимальна вага садки 45 т (3-5 рулонів).

Піч складається зі стенда, муфеля і нагрівального ковпака. Один ковпак обслуговує три стенди.

У відділенні встановлено 252 стенда, згрупованих в 16 блоків: 14 блоків по 15 стендів і 2 блоки по 21 стенду. До складу кожного з 14 блоків входять 15 муфелів і 6 ковпаків, а до складу кожного блоку по 2 стенди входять 21 муфель і 8 ковпаків.

Блоки мають автономну систему подачі природного й захисного газів, повітря; електроенергії, води.

Печі опалюються природним газом з теплотворною здатністю 3350 ккал.

Кожний ковпак обладнаний 8-ми інжекційними пальниками, встановленими тангенціально до стінок муфеля.

Максимальний діаметр відпалюємого рулону 1600 мм, максимальна висота стопи 4700 мм.

Теплова потужність ковпака 530000 ккал/ч.

Нагрівальний ковпак являє собою циліндричний корпус, футерований вогнетривкою цеглою. Загальна вага ковпака – 19 т.

Муфель – це циліндр, закритий з однієї сторони. Муфель виготовлений з нержавіючої сталі товщиною 6 мм. Муфель герметичний.

Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для створення конвекції захисного газу під муфелем.

Печі обладнані також контрольно-вимірювальною апаратурою, що забезпечує задані режими відпалу.

Режим відпалу сталі 08пс (як приклад) наступний: температура по стендовій термопарі 670-710°C, нагрів 10-18 годин; витримка – 10 годин, охолодження – 44 години. Загальний час відпалювання близько 3-х діб.

До складу дресирувального відділення входять дресирувальні стани 1700-1 і 1700-2 і агрегати порізки рулонів на листи АПР № 1,2,3,4,5.

Призначення дресування – запобігання утворення ліній зрушення в процесі штампування виробів у споживача, остаточна обробка поверхні холоднокатаного аркуша.

Дресирувальні стани складаються із кліті кварто, розмотувача, моталки і допоміжного устаткування. Привод стану – від електродвигуна потужністю 600 кВт.

Робочі валки стану мають діаметр 500 мм, опорні – 1300 мм; довжина бочки валків – 1700 мм. Максимальна швидкість дресування – 20 м/с.

Профілювання: опорні валки – циліндричні; робочі валки: верхній – опуклий (опуклість до 0,06 мм); нижній – циліндричний.

Моталка створює натяг (до 5 т) і приводиться двигуном потужністю 630 кВт.

Стани обладнані системами противигину.

Агрегати поперечного різання ріжуть штабу на листи довжиною від 1400 до 3950 мм. Агрегат складається з ножиці барабанного типу і допоміжного устаткування (розмотувач, правильна машина, промаслювальні ролики, листоукладачі). Швидкість різання – до 2,5 м/с. Агрегати обладнані машинами для визначення кількості листів у пачці.

1.2. Технічна характеристика устаткування НСХП 1680

Стан складається із чотирьох послідовно розташованих клітей - кварто й допоміжного устаткування: прийомного й поворотного пристрою, скидача рулонів, розмотувача, роликової прес-проводки, моталки барабанного типу, знімача і лінії збирання рулонів (рис. 1.2).

Прийомний пристрій з маніпуляторами призначений для прийому й нагромадження рулонів і транспортування їх до поворотного пристрою.

Ємність рулонів

Кількість пневматичних упорів, шт.	4
Відстань між упорами, мм	1900
Ухил похилої площини, град.:	
перед першим упором	8
перед наступними упорами	4
Відстань між бортами, мм	1600
Тиск стисненого повітря, атм.	4

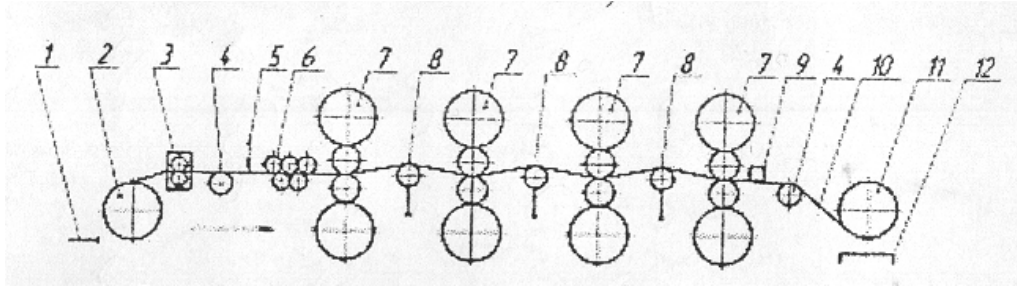


Рисунок 1.2 – Схема розташування устаткування неперервного стана порулонної холодної прокатки: 1 – приймальний транспортер, 2 – розмотувач, 3 – відгинач кінців рулонів, 4 – обвідний ролик, 5 – індикатор шва, 6 – ролик натягач, 7 – чотирьохвалкові кліті, 8 – ролик тензометричного пристрою, 9 – товщиномір, 10 – штаба, 11 – моталка, 12 – прибиральний транспортер.

За допомогою поворотного пристрою здійснюється прийом рулону із прийомного пристрою, повороту його навколо вертикальної осі на 180° і подача рулону на скидач рулонів.

Ємність рулонів	1
Кут повороту, град.	180
Кут гравітаційного рольганга у вихідному Положенні, град.	0
Привод від електродвигуна потужністю 5квт, про./мін	910

Скидач складається з колиски-рольганга й пристрою, що переміщається. Скидач рулонів здійснює прийом рулонів з поворотного

пристрою, правильну установку рулону щодо поздовжньої осі розмотувача й скидання рулону в колиску розмотувача.

Ємність рулонів	1
Ухил роликів рольганга, град:	
при прийманні рулону	3
при скиданні рулону	0
Кут повороту колиски при скиданні, град.	23
Тиск стисненого повітря, атм.	4-6
Швидкість переміщення упору, мм/с	13,4

Розмотувач призначений для правильної установки рулону щодо поздовжньої осі стана, повороту рулону в положення, що забезпечує можливість захвата зовнішнього кінця штаби відгиначем, відгинання кінця штаби й завдання його в роликову прес-проводку.

Розмотувач складається з колиски, центрувача, електромагнітного відгинача й опорних роликів.

Швидкість підйому й опускання колиски, мм/с	20
Швидкість переміщення кареток центрувача, мм/с	84
Відстань між головками конусів, мм:	
мінімальна	280
максимальна	1680
Діаметр головки, мм	710
Найбільше зусилля затискача конусами центрувача, тс	10
Переміщення кареток від електродвигуна, потужністю 30 кВт, бо./мін.	750
Піднімальна сила електромагніта, тс	2
Найбільший кут повороту важелів, град.	62
Час опускання (підйому) важелів при мінімальному діаметрі рулонів, с	2,5
Діаметр тягнучого ролика, мм	305

Окружна швидкість тягнучого ролика, мм 0,5

Роликова прес-проводка призначена для створення натягу штаби перед першою кліттю в процесі прокатки. Прес-проводка складається з верхньої й нижньої рам, вузла роликів діаметром 140 мм і напрямного пристрою.

Ролики змонтовані в касетах (по 4 ролики в касеті), які вставляються в пази, зроблені у верхній і нижній рамах. У верхній рамі встановлено п'ять рядів роликів, у нижній – чотири ряди. Підйом верхньої рами здійснюється за допомогою пневматичного циліндра. Діаметр поршня 1000 мм, діаметр штока 150 мм, хід поршня 250 мм, тиск повітря в магістралі 4-6 атм.

Переміщення прес-проводки при перевалці валків виконується за допомогою гідравлічного циліндра. Діаметр поршня 180 мм. Робочий тиск у гідросистемі 32 кГс/см². Хід проводкового стола при задаванні штаби - 150мм.

Привод переміщення бічних роликів – за допомогою гідродвигуна або вручну. Натяг створюваний роликовою прес-проводкою – від 2,5 до 6 т. Плоскі прес-проводки перед 2-ю, 3-ю і 4-ю клітнями служать для створення натягу при випуску заднього кінця штаби із кліті (рис. 1.3).

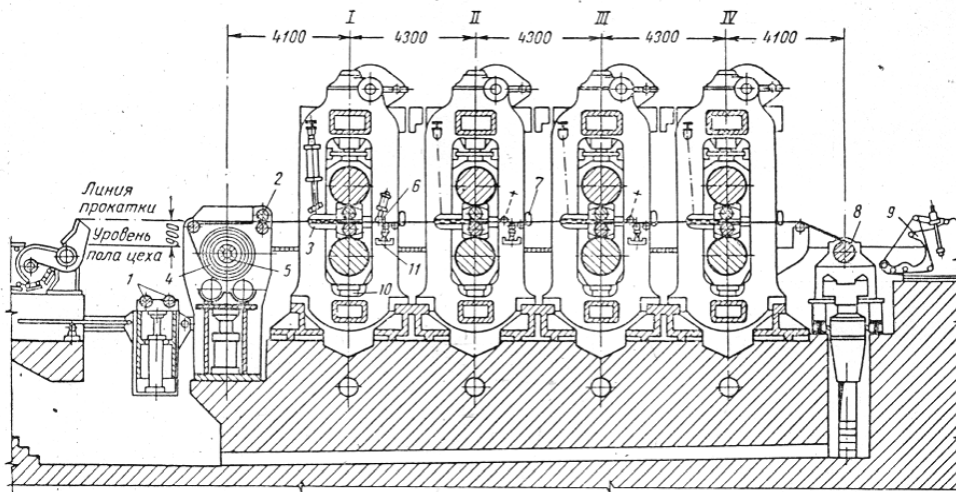
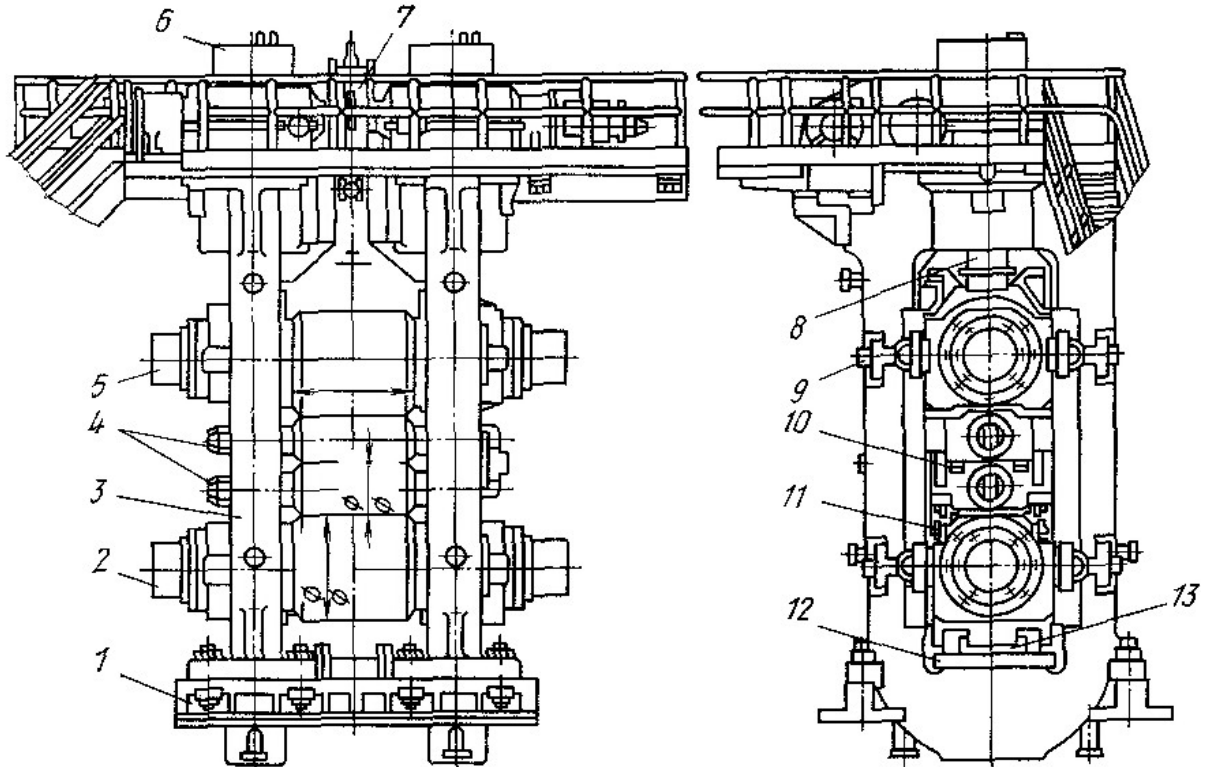


Рисунок 1.3 – Неперервний чотирьохклітьовий стан холодної прокатки: 1 – підготовчі ролики, 2 – направляючі ролики, 3 – приймальний стіл, 4 – рулон, 5 – розмотувач, 6 – опорні ролики вимірювача натяжіння штаби, 7 – товщиномір, 8 – змотувач, 9 – захлестувач, 10 – месдоза, 11 – вимірювач натяжіння штаби.

Робочі кліті стана (рис.1.4) складаються із двох станин, робочих і опорних валків з подушками й підшипниками, механізмами для встановлення й зрівноважування валків, валкових арматур, пристроями для охолодження валків. Також кожна кліть обладнана механізмом перевалки опорних валків.



1 - плитовина; 2 - нижній опорний валок; 3 - станина; 4 - робочі валки; 5 - верхній опорний валок; 6 - натискний механізм; 7 - механізм зрівноважування верхнього опорного валка; 8 - натискний гвинт; 9 - гідрозаслінки; 10 - гідроциліндр; 11 - напрямні бруси для зміни робочих валків; 12 - полози для зміни опорних валків; 13 - мездоза.

Рисунок 1.4 – Чотиривалкова кліть безперервного стана «1680».

Кожна робоча кліть має чотири горизонтальних валка, розташованих один над іншим. Два середніх валка є робочими, два зовнішніх опорними. Робочі валки здійснюють сплющювання (обтиснення) металу, опорні валки необхідні для жорсткості кліті.

Натискні механізми робочих клітей, здійснюють установку валків у вертикальній площині. Привод натискних гвинтів, здійснюється від двох електродвигунів потужністю по 46 кВт, 625 об/хв.

Верхнє положення натискного гвинта обмежується командоапаратом. Контроль руху натискних гвинтів здійснюється за допомогою сельсина БД-501. Відстань між осями натискних гвинтів становить 2700 мм. Швидкість переміщення натискних гвинтів при обтисненні 8 мм/хв., а при зворотному ході 12,2 мм/хв.

Механізм перевалки опорних валків здійснює зміну комплекту опорних валків з подушками.

Маса валків з подушками, т	106,6
Маса рухомих частин каретки, кг	5960
Розрахункове тягнуче зусилля, кг	16880
Швидкість руху каретки м/хв.	2
Хід каретки, мм	4600
Передаточне число редуктора	$i=253$
Потужність електродвигуна, кВт	11

Основними елементами валків є бочка, яка при прокатці безпосередньо контактує з металом; шийки розташовані по обидва боки бочки, які опираються на підшипники валка і треф, що призначений для з'єднання валка із шпинделем. Розміри валків наведені в таблиці 1.1.

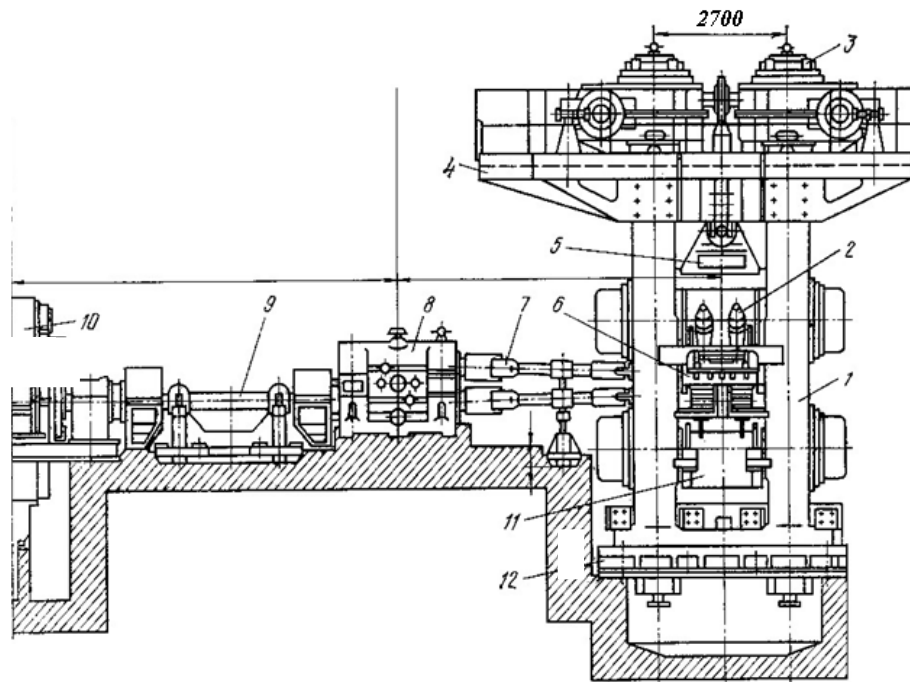
Таблиця 1.1 – Розміри валків.

Валки	Розміри, мм							Маса, т
	Бочки			Шийки		Трефу		
	Діаметр		Довжина	Діаметр	Довжина	Діаметр	Довжина	
	макс.	мін.						
Робочі	510	465	1680	260	248	250	260	3,32
Опорні	1300	1210	1680	конусна	1365	-	-	25,20

Робочі валки виготовлені зі сталі 9Х2МФ, 60Х2СМФ. Робочі валки суцільноковані із загартованою поверхнею бочки. Опорні валки з насадними бандажами. Матеріалом бочки є сталь 9ХФ, осі – сталь 40ХН2МА.

Твердість поверхні валків по Шору: робочих (бочка) - від 90 до 99 од., опорних (бочка) – 70 до 85 од. Зрівноважування верхніх опорних і робочих валків виконується за допомогою гідравлічної системи з тиском масла 105 атм. Тиск у системі гідродомкрата перевалки опорних валків 175 атм.

Привод валків здійснюється від електродвигунів через проміжні вали із зубчастою муфтою, шестеренну кліть і шпиндельне з'єднання. Робоча лінія чотирьохвалкової кліті безперервного стану «1680» представлена на рисунку 1.5.



- 1 - станина; 2 - робочі й опорні валки з подушками; 3 - натискний механізм; 4 - площадка натискного механізму; 5 - гідравлічний пристрій для врівноваження верхнього опорного валка з подушками; 6 - плоский проводковий стіл; 7 - універсальні шпинделі; 8 - шестеренна кліть; 9 - проміжний вал; 10 - електродвигун; 11 - робоча кліть; 12 - плитовини.

Рисунок 1.5 – Робоча лінія чотирьохвалкової кліті безперервного чотирьохклітьового стану «1680».

Таблиця 1.2 – Характеристики електродвигунів

№ кліті	Потужність двигуна, кВт	Число обертів двигуна, об./хв.	Струм якоря, А	Границі швидкостей
1	3300	110/200	5610	2,75 – 5
2	3300	160/280	5580	4 – 7
3	3300/2800	220/330/380	5550/4700	5 – 8; 3 – 9,5
4	2x1650	200/450	2x2820	5 – 10

Напруга в мережі становить 630 В.

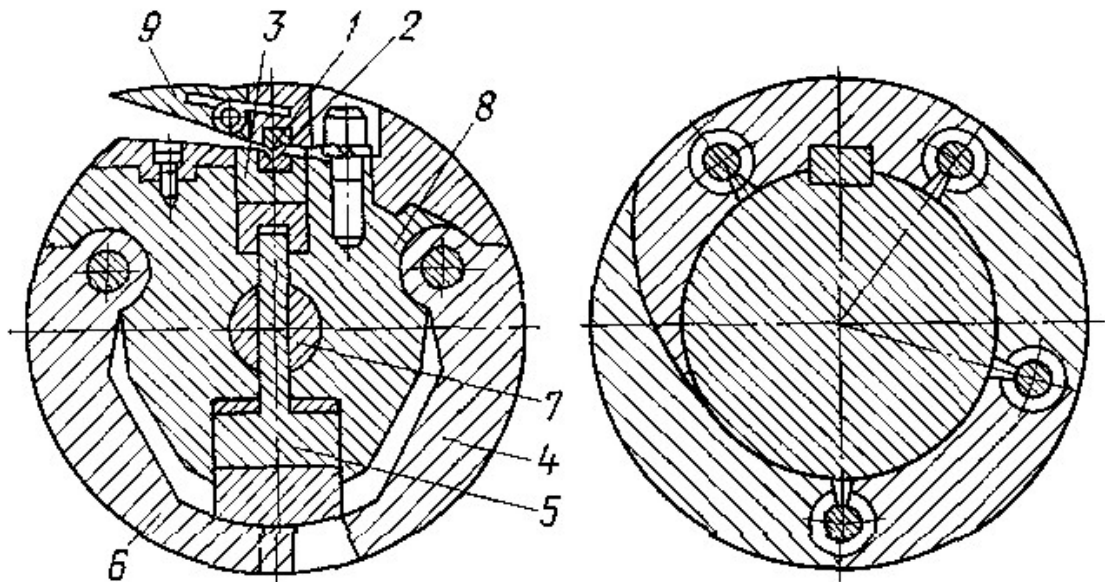
Навантаження на двигуни вимірюються амперметром типу М362. Швидкість прокатки по клітях вимірюється таховольтметром типу М36. Максимальна робоча швидкість прокатки до 10 м/с, заправна швидкість 0,5 м/с.

Для змотування прокатої штаби і створення натягу штаби при прокатці, після 4-ї кліті встановлена моталка барабанного типу. Моталка складається безпосередньо з барабана й відкидної опори. Діаметр барабана моталки в розціпленому стані становить 760 мм, довжина бочки барабана 1790 мм. При знятті рулону діаметр барабана зменшується на 20 мм. Натяг штаби, створюваний моталкою, до 18 тонн. Схема барабана моталки представлена на рис. 1.6.

Привод від двоякірного електродвигуна потужністю 2000 кВт 200/500 об/хв через редуктор з передаточним числом 2. Відкидна опора моталки при знятті рулону повертається на 90° за допомогою гідравлічного циліндра.

Знімач рулонів здійснює зняття рулону з барабана моталки й подачу його в прийомну ринву. Знімач складається з візка з рухливою вилкою, колиски, горизонтального циліндра і рухливого настилу.

Максимальна маса рулону, т	15
Максимальний зовнішній діаметр рулону, мм	1600
Швидкість переміщення візка, м/с	0,25
Швидкість підйому колиски, м/с	0,1
Швидкість кантування рулону, м/с	0,1



1,2 - губки; 3 - верхній клин; 4, 6 - сегменти; 5 - нижній клин; 7 - шток; 8 - приводний вал; 9 - козирок.

Рисунок 1.6 – Схема барабана моталки безперервного стана «1680».

Для приймання рулонів від знімача моталки і передачі їх у проліт термічного відділення встановлена лінія збирання рулонів. Лінія складається з наступних вузлів: прийомного пристрою, прийомного несприродного рольганга, транспортного рольганга, кантувача, ланцюгового транспортера.

Прийомний пристрій складається з похилої ринви і вбудованих у нього упорів, які призначені для утримання рулону на ринві. Прийомний рольганг здійснює прийом рулонів з похилої ринви і подачу їх на прийомний приводний рольганг. Приводний рольганг складається із тринадцяти двоконусних роликів і призначений для прийняття рулонів із прийомного рольганга, транспортування й передачі на кантувач. Кантувач здійснює прийом рулонів із транспортного рольганга і кантування рулонів у вертикальне положення. Ланцюговий транспортер здійснює прийом рулонів від кантувача і транспортування рулонів до прольоту термічного відділення. Ланцюговий транспортер обладнаний фотореле для своєчасної зупинки транспортера.

1.3. Методи регулювання міжвалкового розтвору

Для регулювання форми і розмірів міжвалкового зазору та виробництва якісного поперечного профілю штаб у клітях широкоштабових станів використовують кілька каналів регулювання міжвалкового зазору:

- верстатне профілювання валків, у тому числі і CVC - профілювання;
- теплове профілювання розмірів валків шляхом секційного охолодження;
- протизгину (додатковий вигин) робочих валків;
- перехрещування верхньої й нижньої пар валків відносно один одного на кут до $1,5^\circ$;
- роздільна зміна положення лівого й правого натискних пристроїв кліті.

Робочими органами протизгину робочих валків є гідросистема, подушки і плунжери. Відповідно до даних практики та літературних джерел плунжери мають пласку робочу поверхню [3], [4], А це створює умови для защемлення шийок валків в підшипниках (подушках) і зменшує власний прогин валків (робочих, опорних). Дійсно, якщо повністю виключити зазори в вузлі шийка-подушка, то, наприклад, робочий валок буде згинатися не відносно осі плунжерів, а щодо шийки валка. У цьому випадку прогин робочого валка буде дещо менше. В роботі [7], зазначається, що зниження жорсткості вузла шийка-подушка нижнього опорного валка кліті №10 широкоштабового стану 1680 за рахунок збільшення зазору між шийкою і підшипником до 0,8 ... 1,2 мм (проти застосовуваного зазору 0,4 мм) підвищило ефективність регулювання міжвалкового зазору натискними пристроями, істотно скоротило кількість серповидних штаб і застрявання їх у моталках. Дослідженнями [6] показано, що при постійному зазорі в підшипниках прогин валка збільшується при зменшенні площі контакту проміжної опори (довжини контакту по довжині подушки) наступним чином:

Таблиця 1.3 – Міжвалкові зазори

Зазор, мм	Тип опори, прогин (δB), мкм		
	підкладка по всій довжині подушки (I)	підкладка довжиною 10 мм (II)	шарик (III)
0,02	23	22	28
0,06	19..20	29	36
0,1	19..20	34	43

Як випливає з таблиці при установці проміжної опори типу I величина зазору між шийкою і підшипником не впливає на величину прогину валка і $\delta B \approx 19..23$ мкм. Найбільший прогин валка спостерігали при установці в якості опори кульки (тип III), становить $\delta B = 28 \dots 43$ мкм, і проглядається суттєвий вплив величини зазору в подушках шийок валка.

Ці дослідження дозволяють зробити однозначний висновок про недоцільність застосування в подушках робочих і опорних валків врівноваження і протизгину валків плунжерів з плоскою поверхнею контакту з протилежною подушкою.

З урахуванням результатів промислових і лабораторних досліджень запропоновано два варіанти пристроїв для врівноваження (протизгину) валків кліті кварто. У першому варіанті пропонується застосовувати плунжери гідропрстроїв зі сферичним торцем, яким плунжер контактує з протилежною (верхньою) подушкою валка [5].

У цьому пристрої подушки з підшипниками самовстановлюються щодо шийок валків, що виключає їх защемлення та забезпечується вільний прогин валків. У другому варіанті (рис. 1.7) [6] конструкція плунжера не змінюється, а на верхню подушку встановлюється накладка зі сферичною контактної поверхнею. На рис. 1.7 показана схема робочих валків з подушками і гідропрстроїв, а на рис. 1.7 - вузол плунжера і прокладки зі сферичною (параболічної) опорною поверхнею, які встановлені в контактні на подушках робочих і опорних валків.

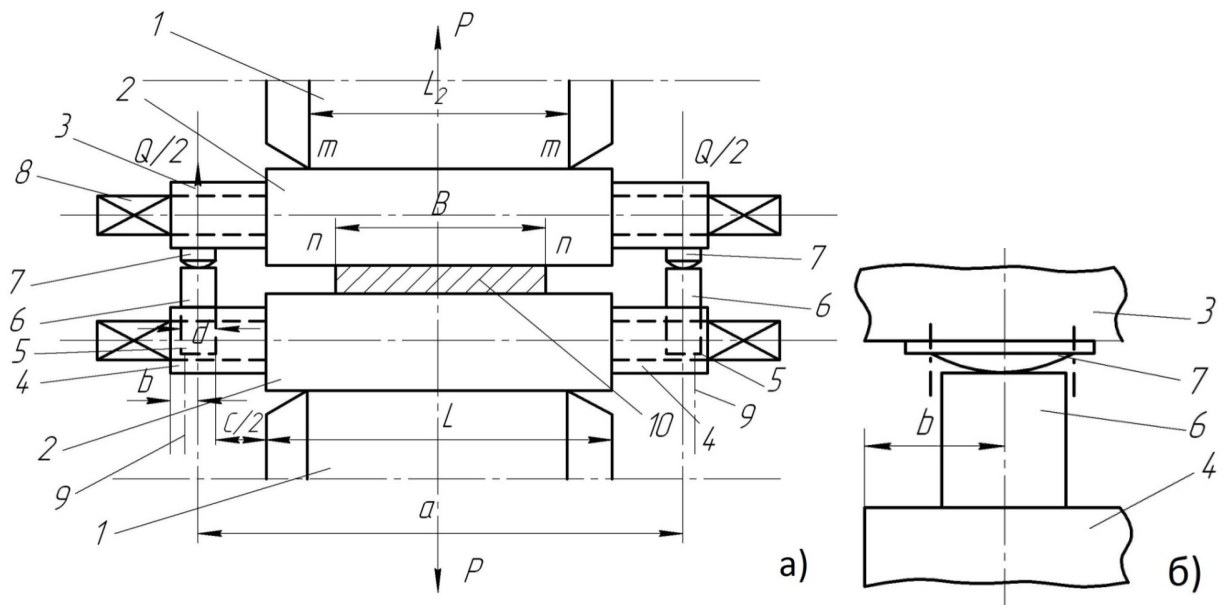


Рисунок 1.7 – Пристрій для регулювання прогину валка: 1 - опорні валки; 2 - робочі валки; 3 - подушки верхніх робочих валків; 4 - подушки нижніх робочих валків; 5 - гідроциліндри; 6 - плунжера; 7 - прокладка зі сферичною опорною поверхнею; 8 - хвостовікі приводів; 9 - гідросистема харчування гідроциліндрів.

1.4. Розробка заходів щодо реконструкції

Як вказано вище існує цілий ряд можливостей регулювання положення валків (міжвалкового зазору) щодо вертикальної осі кліті. Раніше відзначали [1-3], що ефективність регулювання положення робочих валків обумовлена ступенем зацмлення в подушках шийок опорних валків. Зацмлення шийок опорних валків багато в чому обумовлене характером контакту гідроплунжерів зрівноважування верхнього опорного валка. Відомо, що в існуючих клітях кварто опорні (контактні) торці плунжерів мають плоску поверхню [4]. При вигині валків плоска поверхня плунжерів з діаметром з $l = 75 \dots 180$ мм перешкоджає повороту подушок, а, отже, і шийок валків внаслідок підвищення твердості контакту. При цьому сам прогин валків трохи зменшується, якщо, до того ж, відсутній достатній зазор між шейками валків і підшипниками кочення. Крім того, висока твердість системи

плунжера - валок для забезпечення необхідного регулювання міжвалкового зазору змушує застосовувати значні сили протизгину, що впливає на підшипники кочення робочих валків [5]. Зниження твердості в конструкції вузла плунжер - подушка поліпшує здатність кліти до регулювання поперечних параметрів штаби [1-3].

Метою дипломного проекту є підвищення якості поперечного профілю штаби шляхом застосування нових конструкцій плунжерів гідравлічних пристроїв протизгину валків.

Застосування нової конструкції опорного вузла зі сферичними поверхнями контакту плунжера і подушки дозволяють поліпшити вплив на міжвалковий зазор [3]. На рисунку 1.8 представлено два варіанти виконання пристроїв зі сферичними опорами в контакті плунжерів і подушок опорних і робочих валків [6, 7].

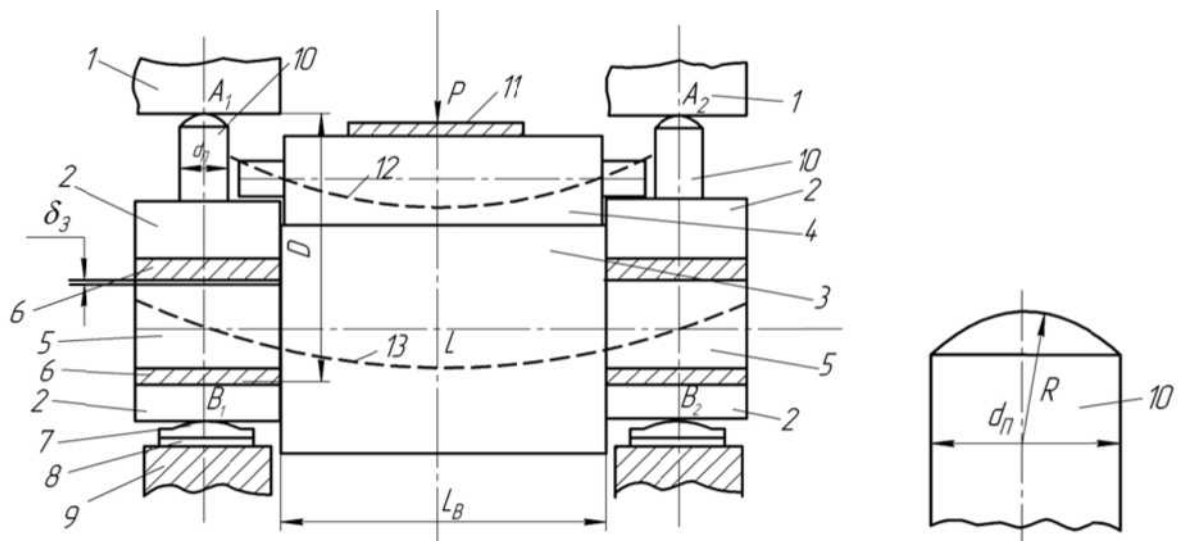


Рисунок 1.8 – Комплект валків і подушок зі сферичними плунжерами: 1 - лапи верхніх подушок опорного валка; 2 - подушки нижнього опорного валка; 3 - нижній опорний валок; 4 - нижній робочий валок; 5 - шейку опорного валка; 6 - підшипник; 7 - прокладка з параболічною формою поверхні; 8 - прокладка; 9 - нижня поперечка станини; 10 - плунжер зі сферичною формою торця; 11 - штаба; 12 - лінія прогину робочого валка; 13 - лінія прогину опорного валка (P - сила прокатки; d_p - діаметр плунжера; R - радіус сферичної поверхні торця плунжера - $R = 200-500$ мм)

На рисунку 1.8 показана схема вузла подушок 2 нижнього опорного валка 3 із плунжерами 10, які мають торці зі сферичними або параболічними поверхнями. Нижні поверхні подушок опираються на прокладки 7 з параболічною формою контакту. У такий спосіб нижні подушки мають волю переміщення по осі опорного валка 3. Тоді, при прокатуванні під дією сили P відбувається вигин опорного валка і його вісь одержує кривизну, що відповідає лінії 13. Внаслідок наявності обмеженого розміру контакту («крапкового») на ділянках A_1 , A_2 плунжери 10 мають можливість провертатися щодо ділянок B_1 і B_2 по радіусу з розміром B . При такому контакті в опорах подушок відсутнє защемлення шийок опорних валків у подушках підшипників навіть при відсутності зазорів, і це підвищує чутливість опорного валка до регулювання міжвалкового зазору шляхом впливу натискними пристроями.

Плунжери пристроїв зрівноважування (гідравлічного протизгину) верхнього робочого валка також мають плоскі поверхні контакту з верхніми подушками. Крім того плунжери (гідроциліндри) розташовують по осі шийок робочих валків, на відстані 0,51 м від торця бочки робочого валка ($l_{ш}$ - довжина шийки валка). Для виробництва ефекту впливу протизгину робочих валків необхідно застосувати значні сили Q , величина яких обмежена міцністю підшипників кочення на шейках валків.

Пристрій працює в такий спосіб. При прокатуванні штаби 10 відбувається прогин валків з більшою величиною по осі валків. При цьому крайові ділянки бочок одержують менше вертикальне переміщення, що викликає більше обтиснення крайок штаби в крапках p і поява дефекту форми штаби у вигляді хвилястості. Зменшення обтиснення штаби на ділянках (рис. 1.8) на шейки робочих валків діють силою протизгину валка. Під дією сил збільшується прогин кінцевих ділянок валків щодо крапок t у контакті робітників і опорних валків і збільшується пружна деформація валків на ділянках t . Відповідно до відомих положень опору матеріалу вигину маємо.

Таким чином, при прийнятих параметрах пристрою обтисків крайок штаби на ділянках може поменшати в 1,19 рази, що сприяє вирівнюванню товщини (і форми) штаби по її ширині. Беручи до уваги, що при збільшенні параметра відбувається збільшення пружної деформації σ_T , то ефект переносу плунжерів ближче до торців шийок на зниження товщини крайок штаб буде більше.

Застосування сферичного (параболічного) контакту плунжера з накладками подушки верхнього валка може повністю усунути защемлення шийок валка в підшипниках кочення, установлених у подушках, забезпечити вирівнювання погонних навантажень по довжині підшипника і при цьому, підвищується його працездатність. Одночасно з цим повністю виключається можливість утворення дефекту «серп» на штабі, що запобігає застряганню полосі при задачі її в моталки.

1.5. Розробка заходів по підвищення ефективності взаємодії робочих валків та системи протизгину

Прокатні валки – змінний робочий, технологічний інструмент прокатних станів, який в значній мірі визначає продуктивність станів, якість прокату, сталість технології, енергоємність та безаварійність процесу прокатки.

За призначенням і формою бочки розрізняють валки з комбінованою, гладкою, каліброваною бочкою відповідно для прокатки напівпродуктів, штаб, листів і сортових профілів. По сприйняттю сили і моменту прокатки валки поділяються на опорні та робочі. У клітей дуо і кварто робочі валки приводні і сприймають крутні моменти. Робочі валки клітей дуо сприймають і сила прокатки, тобто одночасно працюють на згин і кручення [1].

В клітей кварто робочі валки працюють на кручення, а опорні – розвантажують їх від сили прокатки, тобто працюють тільки на згин, маючи в 2-3 рази більший діаметр бочок у порівнянні з бочками робочих валків.

Валки виготовляють литвом і куванням. Відливають валки із чавуна та вуглецевих сталей. Відковують валки із легованих сталей. Валкові чавуни і сталі в тій, чи іншій мірі легують хромом, нікелем, кремнієм, марганцем, молібденом, ванадієм і вольфрамом. Завдяки куванню валки мають достатню міцність, твердість та високу якість поверхні. Термічною обробкою досягають необхідного поєднання та зв'язку поверхневого загартованого прошарку та внутрішньої в'язкої серцевинної частини валків.

Найважливішими показниками якості валків є твердість поверхні бочки та загальна міцність валків.

По твердості валки використовують трьох класів:

Клас валків	Твердість, одиниць	
	(по Брінелю) HB	(по Шору) HS
Напівтверді	250...400	35...60
Тверді	400...600	60...85
Особливо тверді	600...800	85...100

При визначенні міцності валок розглядають як двоопорну балку навантажену силою прокатування та крутним моментом, що спричиняє появу в тілі валка крутих і згинаючих напружень. Сумісна дія цих напружень, себто еквівалентне напруження σ_e , не повинно перевищувати за величиною допустиме напруження $[\sigma]$, яке дорівнює

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{[n]} \quad (1.1)$$

де σ_B - межа міцності матеріалу валків; $[n]$ - коефіцієнт запасу міцності, мінімальна величина якого для валка дорівнює 5.

В існуючих пристроях протизгину плунжери встановлюють по осі шийок валка [3], [4], що, на наш погляд, є не обов'язковим, тому сила, що діє від плунжера на шийку робочого валка, не загрожує поломки. Цілковитим

раціональним є зміщення гідроциліндрів і плунжерів від осі шийок до торця шийки валка .

Гідроциліндри з плунжерами розміщують в нижніх подушках на відстані в $l_c = (1,10 \dots 1,20) d / 2$ (де d - зовнішній діаметр гідроциліндра, який визначається конструктивно виходячи з міцності подушки; b - відстань від осі отвору для гідроциліндра до бічної поверхні подушки). Радіус торцевої сферичної (параболічної) поверхні накладки також визначається конструктивно і може дорівнювати $r = (2,5 \dots 5,0) d$. Пристрій працює наступним чином. При прокатуванні штаби10 відбувається прогин валка з більшою величиною по осі валків. При цьому крайові ділянки бочок отримують меншу вертикальне переміщення, що викликає більшу обтиснення кромки штаби на ділянках «n» і появи дефекту «хвилястості» для зменшення обтиску штаби на ділянках «n» на шийки робочих валків діють силою Q протизгину валка . Під дією сили Q збільшується прогин кінцевих ділянок валків відносно точки «m» у контакті робочих і опорних валків. Відповідно по відомим положенням опору матеріалів прогину маємо:

для прототипу

$$\delta_{ВП} = \delta_m \left(\frac{B}{L_2} \right)^2; \quad (1.2)$$

для запропонованого пристрою

$$\delta_{ВП} = \delta_m \left(\frac{B}{L_2} \right)^2 \left(\frac{a}{L + c - d} \right); \quad (1.3)$$

де $\delta_{ВП}$ і δ_B - вертикальне переміщення валків на ділянці «n» ширини штаби(на крайках); L - довжина бочки робочого валка; L_2 - довжина активної ділянки довжини бочки опорного валка; a - відстань між осями плунжерів; c -

довжина шийки валка; d - діаметр плунжера; B - ширина штаби; δ_m - пружна деформація валків на контакті.

Таким чином, у порівнянні з прототипом запропоноване пристрій дозволяє (при $Q = \text{const}$) зменшить обтиснення кромки штаби на ділянках «п» в (раз)

$$\Delta = \frac{\delta_B}{\delta_{\text{ВП}}} = \left(\frac{a}{L + c - d} \right); \quad (1.4)$$

$$a = L + 2(c - b).$$

Так, наприклад, при $L = 1700\text{мм}$, $c = 300\text{мм}$, $d = 100\text{мм}$, $b = 60\text{мм}$, отримаємо

$$\Delta = \left[\frac{L + 2(c - b)}{L + c - d} \right] = \left(\frac{1700 + 480}{1700 - 100} \right) = 1,30.$$

Отже. При прийнятих параметрах пристрою, обтиснення кромки штаби на ділянках «п» зменшиться в 1,3 рази, що сприяє вирівнюванню товщини і форми штаби по її ширині.

Використання сферичного (параболічного) контакту плунжера з накладкою подушки верхнього валка повністю усуває защемлення шийок валка в підшипниках кочення, встановлених в подушках, забезпечуючи вирівнювання погонних сил по довжині підшипника і при цьому підвищується його працездатність.

При впливі сили протизгину Q на шийку валка профіль твірна бочок робочих валків змінюється, в основному, в результаті пружного сплюснення на крайових ділянках міжвалкового контакту [9, 10]. Так, у дослідженнях [9] при прокатуванні сталевих штаб на стані 500 встановили, що при використанні протизгину ($2Q = 0,17P$ і $2Q = 0,25P$; $B / L = 0,48$) відбувається додаткове пружне сплюснення ділянок робочих валків під штабою на величину 1,6 ... 2,1 мкм. На краях бочок робочих валків відповідно з

відомими співвідношеннями додаткове пружне сплющування буде в ~ 4 рази більше.

На ділянці валка, відповідному ширині штаби при різних умовах навантаження, нерівномірність радіальної деформації змінюється незначно [10].

У клітях кварто, де використовують пристрої для протизгину робочих валків, робочу рідину (масло) подають на два плунжера і тому зазор між робочими валками змінюється за рахунок пружних деформацій на крайових ділянках валків. При цьому робочі валки на безперервних станах зміщують у напрямку прокатки (Н.П.) на $e = 5 \dots 7$ мм щодо осей опорних валків. Застосування протизгину робочих валків надає певний вплив на поперечну різнотовщинність штаб. Так поперечна різнотовщинність штаб в клітях №№9, 10 на широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680 (ПАТ «Запоріжсталь») з $\delta h = 0,064 \dots 0,083$ мм (без протизгину) знижується всього на $0,02 \dots 0,03$ мм при $Q / P = 0,07 \dots 0,075$ ($B / L = 0,6 \dots 0,7$). Збільшення сили протизгину до $Q / P = 0,6$ знижує поперечну різнотовщинність на $0,04 \dots 0,09$ мм (стан 500 [9]). Однак застосування більших величин сили протизгину може призводити до поломок підшипників шийок робочих валків.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби товщиною 0,7x1000 мм зі сталі 08Ю на неперервному стані холодної прокатки 1680

Розрахунок проводимо використовуючи методику д.т.н., професора Ніколаєва В.О. [1].

Визначаємо сумарний обтиск по формулі:

$$\varepsilon = 0,51 + 0,148(2 - h)^{1,3}, \quad (2.1)$$

Початкова товщина штаби визначається по формулі:

$$H = h / (1 - \varepsilon), \quad (2.2)$$

Де h - товщина штаби до і після прокатки, мм.

Сумарний обтиск визначаємо по формулі:

$$\Delta h = H - h_i, \quad (2.3)$$

Коефіцієнт тертя визначується по формулі:

$$f = f_o \cdot k_d \cdot k_n \cdot k_{cm} \cdot k_t, \quad (2.4)$$

де f_o - базова границя текучості;

k_d, k_n - поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно відносний обтиск штаби і шорсткість поверхні штаби;

k_{cm} - поправочний коефіцієнт, що враховує тип технологічного змащення;

k_t - коефіцієнт, що враховує температуру металу.

Визначається базова границя текучості при $<7,5$ м/с з формули:

$$f_o = 0,076 - 0,0019\nu + 0,031 \cdot (R_a - 0,6) \cdot [(1,07 - 0,14\nu)^3 + 0,054\nu - 0,26], \quad (2.5)$$

Коефіцієнт рівний:

$$k_n = 1,09 - 0,05R_{an}, \quad (2.6)$$

Коефіцієнт рівний:

$$k_d = 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_a(1 - 3,33\varepsilon), \quad (2.7)$$

Розрахунок коефіцієнта тертя з урахуванням температури штаби проводиться по формулах:

$$k_t = a + c \cdot (1,11 - 0,0044 \cdot t_H)^n, \quad (2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7\varepsilon; \\ c &= 1,2 - 2,8\varepsilon; \\ n &= 3,84 - 5,7\varepsilon. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Показник тертя розраховуємо по формулі:

$$f_n = 1,6f - 0,018, \quad (2.10)$$

Виконаємо розрахунок сумарного обтиску, розрахуємо товщину штаби:

$$\varepsilon_\Sigma = 0,51 + 0,148(2 - 0,6)^{1,3} = 0,74;$$

$$H = 0,6 / (1 - 0,74) = 2,3 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma} = 2,4 - 0,7 = 1,7 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 1} = 0,5 \cdot 1,7 = 0,85 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 2} = 0,24 \cdot 1,7 = 0,41 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 3} = 0,18 \cdot 1,7 = 0,30 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 0,08 \cdot 1,7 = 0,14 \text{ мм}.$$

Перевірка:

$$\Delta h_{\Sigma} = 0,85 + 0,41 + 0,30 + 0,14 = 1,7 \text{ мм}.$$

Кліть 1

$$H_o = 2,3 \text{ мм}; \Delta h = 0,85 \text{ мм}; h_1 = 1,45 \text{ мм}; \varepsilon = 36,96\%; Ra = 2,5 \text{ мкм};$$

$$D_p = 550 \text{ мм}; t_H = 25^0 \text{ C}; v = 4,22 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт тертя і показник тертя визначуваний по формулах:

$$f_o = 0,076 - 0,00019 \cdot 4,22 + 0,031 \cdot (5 - 0,6) [(1,07 - 0,14 \cdot 4,22)^3 + 0,054 \cdot 4,22 - 0,26] = 0,073;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,3696 + 0,165 \cdot 2,5(1 - 3,33 \cdot 0,3696) = 1,06;$$

$$k_n = 0,97;$$

$$k_{cm} = 1,0;$$

$$k_t = 0,94 + 0,17(1,11 - 0,0044 \cdot 25)^{1,73} = 1,10;$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,3696 = 0,94;$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,3696 = 0,17;$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,3696 = 1,73.$$

$$f = 0,073 \cdot 1,06 \cdot 0,97 \cdot 1,10 = 0,082;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,082 - 0,018 = 0,113.$$

Розрахуємо границю текучості 08Ю по формулах:

$$\sigma_{T1} = \sigma_{T0} + \Delta \sigma_T \cdot K_{\varepsilon}, \quad (2.11)$$

де σ_0 - початкова (після відпалу) до деформації границя текучості;

$\Delta\sigma_T$ - ступінь зміцнення металу при деформації;

k_ε - коефіцієнт, що враховує ступінь деформації.

Величини σ_0 і $\Delta\sigma_T$ залежать від хімічного еквівалента даної марки сталі [3].

Для вуглецевих, конструкційних, низьколегованих марок сталей хімічний еквівалент, величини σ_0 і $\Delta\sigma_T$ рівні:

$$\left. \begin{aligned} C_3 &= C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4}; \\ \sigma_{T0} &= 210 + 263 \cdot C_3; \\ \Delta\sigma_T &= 209 + 460 \cdot C_3. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Коефіцієнт k_ε визначають таким чином:

$$k_\varepsilon = 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{0,4}\right)^{1,5+C}, \quad (2.13)$$

де C – вміст вуглецю в сталі.

Границя текучості металу після деформації з урахуванням впливу температури і швидкості деформації [3] дорівнює:

$$\sigma_{T1} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma \cdot k, \quad (2.14)$$

де n_u , n_t - коефіцієнти, що враховують вплив відповідно швидкості деформації і температури металу перед деформацією.

Коефіцієнти n_u і n_t визначаються з виразів [3]:

$$\left. \begin{aligned} n_u &= 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln u}{13,8} \right)^2; \\ n_t &= 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{t_n}{300} \right)^2. \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Середній опір металу деформації дорівнює:

$$\sigma_{\phi} = 1,15 \cdot [n_t \cdot \sigma_{T(i-1)} + 0,67(\sigma_{T1} - n_t \cdot \sigma_{T(i-1)})], \quad (2.16)$$

де σ_{T1} - границя текучості після проходу;

$\sigma_{T(i-1)}$ - границя текучості до проходу.

Швидкість деформації визначимо по формулі:

$$u = v \cdot \frac{\varepsilon}{l_c}, \quad (2.17)$$

У першому наближенні приймаємо для кліті 1 - (1,3-1,5)

Обчислюємо швидкість деформації, середній опір металу, границю текучості металу після деформації, а також границю текучості сталі 08Ю по формулах (2.11 – 2.17):

$$C_3 = 0,11 + 0,03/24 + 0,5/6 + 0,1/5 = 0,215;$$

$$\sigma_{T0} = 210 + 263 \cdot 0,215 = 266 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\Delta\sigma_T = 209 + 460 \cdot 0,215 = 308 \text{ Н/мм}^2;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 - \left(1 - \frac{0,3696}{0,4} \right)^{1,58} = 0,99;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 0,99 = 570 \text{ Н / мм}^2;$$

$$l_d = \sqrt{0,85 \cdot 275} = 15,29 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 15,29 = 21,40 \text{ мм}.$$

$$u = \frac{4220 \cdot 0,3696}{21,40} = 73 \text{ с}^{-1};$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 73}{13,8} \right)^2 = 1,25;$$

$$n_i = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{25}{300} \right)^2 = 0,99;$$

$$\sigma_{T1} = 255 \cdot 1,25 \cdot 0,99 + 287 \cdot 0,99 = 634 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15 [255 + 0,67(634 - 255)] = 589 \text{ Н / мм}^2;$$

Довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби, а так само натяжіння кінців штаби, дорівнює:

$$l'_c = \frac{C + \sqrt{C^2 + 4R \cdot \Delta h \left(1 - C \cdot \frac{f_n}{2 \cdot h_{cp}} \right)}}{2 \left(1 - C \cdot \frac{f_n}{2 \cdot h_{cp}} \right)}; \quad (2.18)$$

$$\left. \begin{aligned} C &= n_{cp} \cdot \sigma_{\phi} \cdot \frac{R}{47500}; \\ x_2 &= n_1 \cdot \sigma_{\phi 1} \cdot \frac{R}{95000}. \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

$$l_c = l'_c + x_2, \quad (2.20)$$

де R - радіус жорсткого валка;

n_{cp}, n_1 - коефіцієнти, що враховують вплив середньої напруги натяжіння і напруги натяжіння переднього кінця штаби:

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_n + \sigma_z}{2\sigma_{\phi}}, \quad (2.21)$$

$$n_1 = 1 - \frac{\sigma_n}{\sigma_z}, \quad (2.22)$$

де σ_n, σ_z - напруга відповідно переднього і заднього натяжіння.

Обчислюємо довжину дуги контакту з формул (2.18 – 2.22):

$$n_{cp} = 1 - \frac{25 + 0,15 \cdot 589}{2 \cdot 589} = 0,9;$$

$$n_1 = 1 - \frac{95}{1,15 \cdot 589} = 0,84;$$

$$c = 0,9 \cdot 589 \cdot \frac{275}{47500} = 2,4 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,84 \cdot 589 \cdot \frac{275}{95000} = 1,12 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{2,4 + \sqrt{2,4^2 + 4 \cdot 275 \cdot 0,85 \left(1 - 2,4 \cdot \frac{0,113}{2 \cdot 1,875}\right)}}{2 \left(1 - 2,4 \cdot \frac{0,113}{2 \cdot 1,875}\right)} = 15,39 \text{ мм};$$

$$l_c = 15,39 + 1,12 = 16,50 \text{ мм}.$$

Знаходимо середній нормальний тиск і енергосилові параметри прокатки з урахуванням натягіння:

$$P'_{cp} = \sigma_{\phi} \cdot \left[1 + 0,48 \cdot f_n \cdot l_d \cdot \frac{(1-a)}{h_{cp}} \right], \quad (2.23)$$

$$P_{cpH} = P'_{cp} \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2 \cdot P'_{cp}} \right), \quad (2.24)$$

де p_{cp} – середній тиск з формули (2.23).

Визначаємо силу прокатки з формули:

$$P = P_{cpH} \cdot l_d \cdot B_{cp} \cdot 10^{-6}, \quad (2.25)$$

Визначуваний момент прокатки:

$$M = \psi \cdot P \cdot l_d + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_3 \cdot \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_3} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (2.26)$$

де ψ - коефіцієнт положення рівнодіючих сил:

$$\psi = 0,48 \left(\frac{l_d}{l_c} \right)^2, \quad (2.27)$$

Потужність прокатки металу (на двох валках):

$$N = 2 \cdot 960 \cdot M \cdot \frac{\nu}{R}, \quad (2.28)$$

Виконуємо розрахунок середнього нормального тиску і сили прокатки по формулах:

$$p'_{cp} = 589 \left(1 + 0,48 \cdot 0,113 \cdot \frac{16,50}{1,875} \right) = 871 H / мм^2;$$

$$\sigma_n = 25 H / мм^2, \sigma_z = 95 H / мм^2;$$

$$p_{cp} = 871 \left(1 - \frac{25 + 95}{2 \cdot 871} \right) = 811 H / мм^2;$$

$$P = 811 \cdot 1030 \cdot 16,50 \cdot 10^{-6} = 17,87 МН.$$

Визначуваний момент прокатки і потужність прокатки по формулах (2.26 – 2.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{15,29}{16,50} \right)^2 = 0,41;$$

$$M = 2 \cdot 0,41 \cdot 17,87 \cdot 0,01650 + 2,5 \cdot 1030 \cdot 0,275 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{1,45 \cdot 95}{2,3 \cdot 25} \right) = 0,259 МН \cdot м;$$

$$N = 960 \cdot 0,259 \cdot \frac{4,22}{0,275} = 3821 кВт < 4800.$$

Визначимо температуру штаби на виході з кліти по формулі:

$$t_k = t_H + \Delta t, \quad (2.29)$$

де Δt - приріст температури у осередку деформації.

Приріст температури штаби в даній кліті рівний:

$$\Delta t = 0,05 \cdot m(p_{cp} + \sigma_\phi) \ln \frac{H}{h}, \quad (2.30)$$

де m – коефіцієнт, який приблизно визначається виразом:

$$m = 2,2 - 0,65 \cdot \left(\frac{t_H}{480} - 0,042 \right)^{1,4}, \quad (2.31)$$

Визначаємо температуру штаби на виході за допомогою формул (2.29 – 2.31):

$$\Delta t = 2,20 \cdot 0,05(811 + 589) \ln \frac{2,5}{1,7} = 71^\circ C;$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{25}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,20;$$

$$t_k = 25 + 71 = 96^\circ C.$$

Кліть 2

$$h_1 = 1,45 \text{ мм}; h_2 = 1,04 \text{ мм}; \Delta h = 0,41 \text{ мм}; \varepsilon = 28,28\%; t_H = 96^\circ C; v = 5,88 \text{ м/с}.$$

Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів для кліти 2 такий же, як і для кліти 1.

Визначуваний коефіцієнт тертя по формулі (2.4 – 2.10):

$$f_o = 0,076 - 0,0019 \cdot 5,88 + 0,031(5 - 0,6) \left[(1,07 - 0,14 \cdot 5,88)^3 + 0,054 \cdot 5,88 - 0,26 \right] = 0,069;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,2828 + 0,165 \cdot 2,5(1 - 3,33 \cdot 0,2828) = 1,02;$$

$$k_t = 0,79 + 0,41(1,11 - 0,0044 \cdot 96)^{2,23} = 0,97;$$

$$k_n = 0,97;$$

$$k_{cm} = 1;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,2828 = 0,79; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,2828 = 0,41; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,2828 = 2,23 \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,069 \cdot 1,02 \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 0,066;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,066 - 0,018 = 0,088.$$

Визначувана границю текучості, сумарний обтиск з формул (2.11 – 2.15):

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2,3 - 1,03}{2,3} = 0,5478;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,5478 - 0,47)^{0,5} = 1,33;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,33 = 677 \text{ H / мм}^2;$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,41} = 10,62 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 10,62 = 14,87 \text{ мм}.$$

$$u = 5880 \cdot \frac{0,2828}{14,87} = 112 \text{ с}^{-1};$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 112}{13,8} \right)^2 = 1,27;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{96}{300} \right)^2 = 0,91;$$

$$\sigma'_{T} = 1,27 \cdot 0,91 \cdot 255 + 287 \cdot 1,33 = 717 \text{ H / мм}^2.$$

Визначаємо опір металу деформації по формулах (2.16) – (2.17):

$$\sigma_{\phi} = 1,15[652 + 0,67(717 - 652)] = 800 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot 652 = 98 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 717 = 108 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{98 + 108}{2 \cdot 800} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{108}{800} = 0,87.$$

Визначимо довжину дуги контакту по формулах (2.18) – (2.22):

$$c = 0,87 \cdot 800 \frac{275}{47500} = 3,16 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 800 \frac{275}{95000} = 1,57 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = 1,245 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,16 + \sqrt{3,16^2 + 4 \cdot 275 \cdot 0,41 \left(1 - 3,16 \cdot \frac{0,088}{2 \cdot 1,245}\right)}}{2 \left(1 - 3,16 \cdot \frac{0,088}{2 \cdot 1,245}\right)} = 11,89 \text{ мм};$$

$$l_c = 11,89 + 1,57 = 13,46 \text{ мм}.$$

Визначаємо енергосилові параметри по формулах (2.23) – (2.25):

$$p'_{cp} = 800 \left(1 + 0,39 \cdot 0,088 \cdot \frac{13,46}{1,245}\right) = 1034 \text{ H / мм}^2$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,088) = 0,39;$$

$$p_{cp} = 1034 \cdot \left(1 - \frac{98 + 108}{2 \cdot 1034}\right) = 931 \text{ H / мм}^2;$$

$$P = 931 \cdot 0,01346 \cdot 1,03 = 14,26 \text{ МН}.$$

Визначуваний момент прокатки і потужність прокатки по формулах (2.26) – (2.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{10,62}{13,46} \right)^2 = 0,30;$$

$$M = 2 \cdot 0,30 \cdot 14,26 \cdot 0,01346 + 1,45 \cdot 1,03 \cdot 0,275 \cdot 98 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{1,04 \cdot 108}{1,45 \cdot 98} \right) = 0,155 \text{ MN} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,155 \cdot \frac{5,88}{0,275} = 3180 \text{ кВт} < 4800.$$

Визначимо температуру штаби по формулах (2.29) – (2.31):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{96}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,15;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,15 \cdot (931 + 800) \cdot \ln \frac{1,45}{1,03} = 62^\circ \text{C};$$

$$t_k = 0,7 \cdot 96 + 62 = 129^\circ \text{C}.$$

Кліть 3

$$h_2 = 1,04 \text{ мм}; h_3 = 0,74 \text{ мм}; \Delta h = 0,30 \text{ мм}; \varepsilon = 28,85\%; t = 129^\circ \text{C}; v = 8,27 \text{ м/с}.$$

Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів для кліті 3 такий же, як і для кліті 1.

Коефіцієнт тертя визначимо з виразів (2.4) – 2.10):

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 8,27 + 0,031 \left[(1,07 - 0,14 \cdot 8,27)^3 + 0,054 \cdot 8,27 - 0,26 \right] = 0,071;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,2885 + 0,165 \cdot 2,5(1 - 3,33 \cdot 0,2885) = 1,03;$$

$$k_n = 0,97;$$

$$k_{cm} = 1;$$

$$k_t = 0,80 + 0,39(1,11 - 0,0044 \cdot 129)^{2,2} = 0,90;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,2885 = 0,80; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,2885 = 0,39; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,2885 = 2,20 \end{aligned} \right\}$$

$$f = 0,071 \cdot 1,03 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 0,063;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,063 - 0,018 = 0,084.$$

Границю текучості розраховуємо по формулі (2.11) – (2.15):

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2,3 - 0,74}{2,3} = 0,6783;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,6783 - 0,4)^{0,5} = 1,46;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,46 = 715 \text{ H / мм}^2;$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,3} = 9,08 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 9,08 = 12,72 \text{ мм};$$

$$u = 8270 \cdot \frac{0,2885}{12,72} = 188 \text{ с}^{-1};$$

$$n_u = 1 + 0,38(0,5 + \ln 188 / 13,8)^2 = 1,29;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{129}{300} \right)^2 = 0,87;$$

$$\sigma'_{T1} = 1,29 \cdot 0,87 \cdot 255 + 284 \cdot 1,46 = 750 \text{ H / мм}^2.$$

$$\sigma_{T(i-1)} = 682 \text{ H / мм}^2.$$

Опір металу деформації розраховуємо по формулі (2.16) – (2.17):

$$\sigma_{\phi} = 1,15[682 + 0,67(750 - 682)] = 836 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\bar{s}} = 0,15 \cdot 682 = 102 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 750 = 112 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{108 + 112}{2 \cdot 836} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{112}{836} = 0,87.$$

Довжину дуги контакту знаходимо з формул (2.18) – (2.22):

$$c = 0,87 \cdot 836 \cdot \frac{275}{47500} = 3,3 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 836 \cdot \frac{275}{95000} = 1,64 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{1,04 \cdot 0,74} = 0,89;$$

$$l_c = \frac{3,3 + \sqrt{3,3^2 + 4 \cdot 275 \cdot 0,30 \cdot \left(1 - 3,2 \frac{0,084}{2 \cdot 0,89}\right)}}{2 \cdot \left(1 - 3,3 \frac{0,084}{2 \cdot 0,89}\right)} = 10,90 \text{ мм};$$

$$l_c = 10,90 + 1,64 = 12,54 \text{ мм}.$$

Визначаємо енергосилові параметри по формулах (2.23) – (2.25):

$$p'_{cp} = 836 \left(1 + 0,38 \cdot 0,084 \frac{12,54}{0,89} \right) = 1107 \text{ Н / мм}^2;$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,084) = 0,38;$$

$$p_{cp} = 1107 \left(1 - \frac{102 + 112}{2 \cdot 1107} \right) = 1000 \text{ Н / мм}^2;$$

$$P = 1000 \cdot 0,01254 \cdot 1,03 = 13,1 \text{ МН}.$$

Визначимо момент і потужність прокатки по формулах (2.26) – (2.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{9,08}{12,54} \right)^2 = 0,25;$$

$$M = 2 \cdot 0,25 \cdot 13,1 \cdot 0,01254 + 1,04 \cdot 1,03 \cdot 0,275 \cdot 102 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,74 \cdot 112}{1,04 \cdot 102} \right) = 0,113 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,113 \frac{8,27}{0,275} = 3257 \text{ кВм} < 4800.$$

Визначимо температуру штаби по формулах (2.29) – (2.31):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{129}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,12;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,1(836 + 100) \ln \frac{1,04}{0,74} = 66^\circ \text{C};$$

$$t_k = 0,7 \cdot 129 + 66 = 157^\circ \text{C}.$$

Кліть 4

$h_3 = 0,74$ мм, $h_4 = 0,7$ мм, $\Delta h_3 = 0,74$ мм, $\varepsilon = 5,4$ %, $t_H = 157$ °С, $v = 10,2$ м/с.

Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів для кліті 4 такий же, як і для кліті 1.

Коефіцієнт тертя розраховуємо по формулах (2.4) – (2.10):

$$f_o = 0,95[0,062 + 0,005 \cdot 4,4] = 0,08;$$

$$k_v = 0,56 + 0,7(1 - 0,025 \cdot 10,2)^2 = 0,95;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,1892 + 0,165 \cdot 4,4(1 - 3,33 \cdot 0,1892) = 0,99;$$

$$k_t = 0,63 + 0,67(1,11 - 0,0044 \cdot 157)^{2,76} = 0,69;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,1892 = 0,63; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,1892 = 0,67; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,1892 = 2,76. \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,08 \cdot 0,99 \cdot 0,95 \cdot 0,69 = 0,052;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,052 - 0,018 = 0,065.$$

Границя текучості розрахована з формул (2.11)– (2.15):

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{2,3 - 0,6}{2,3} = 0,7391;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,7391 - 0,4)^{0,5} = 1,51;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,51 = 730 \text{ H / мм}^2;$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,14} = 6,2 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 6,2 = 8,69 \text{ мм};$$

$$u = 10200 \frac{0,14}{8,69} = 222 \text{ с}^{-1};$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 222}{13,8} \right)^2 = 1,3;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{157}{300} \right)^2 = 0,85;$$

$$\sigma'_{T1} = 1,3 \cdot 0,85 \cdot 255 + 287 \cdot 1,51 = 759 \text{ H / мм}^2.$$

$$\sigma_{T(i-1)} = 690 \text{ H / мм}^2.$$

Опір металу деформації розраховуємо по формулах (2.16) – (2.17):

$$\sigma_\varphi = 1,15 [690 + 0,67(759 - 690)] = 846 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 690 = 104 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\bar{z}} = 0,15 \cdot 759 = 114 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{104 + 114}{2 \cdot 846} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{114}{846} = 0,87.$$

Довжину дуги контакту визначимо з виразу (2.18) – (2.22):

$$c = 0,87 \cdot 846 \frac{275}{47500} = 3,34 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 846 \frac{275}{95000} = 1,66 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{0,74 \cdot 0,6} = 0,67 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,34 + \sqrt{3,34^2 + 4 \cdot 275 \cdot 0,14 \left(1 - 3,34 \frac{0,065}{2 \cdot 0,67}\right)}}{2 \left(1 - 3,34 \frac{0,065}{2 \cdot 0,67}\right)} = 8,30 \text{ мм};$$

$$l_c = 8,30 + 1,66 = 9,96 \text{ мм}.$$

Енергосилові параметри визначаємо з виразів (2.23) – (2.25):

$$P'_{cp} = 846 \left(1 + 0,4 \cdot 0,065 \frac{9,96}{0,67}\right) = 1049 \text{ Н / мм}^2;$$

$$C_H = 0,17 \left(1 + 14,7 \frac{0,065}{0,67}\right) = 0,4;$$

$$P_{cp} = 1049 \left(1 - \frac{104 + 114}{2 \cdot 1049}\right) = 940 \text{ Н / мм}^2;$$

$$P = 940 \cdot 0,00996 \cdot 1,030 = 8,41 \text{ МН}.$$

Момент прокатки і потужність прокатки визначимо з формул (2.26) – (2.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{6,2}{9,96}\right)^2 = 0,19;$$

$$M = 2 \cdot 0,19 \cdot 8,41 \cdot 0,00996 + 0,74 \cdot 1,030 \cdot 0,275 \cdot 104 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,6 \cdot 114}{0,74 \cdot 104} \right) = 0,053 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,053 \cdot \frac{10,2}{0,275} = 1884 \text{ кВт}.$$

Визначимо температуру штаби з формули (2.29) – (2.31):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{157}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,08;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,08 \cdot (846 + 940) \ln \frac{0,74}{0,6} = 39^\circ \text{C};$$

$$t_k = 157 + 39 = 196^\circ \text{C}.$$

Результати всього розрахунку зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Режими деформації і енергосилові параметри прокатки штаби товщиною 0,7x1000 мм

№ кліті	h мм	Δh , мм	ε , %	t_k , °C	σ_ϕ , Н / мм ²	l_c , мм	ψ	P, МН	M, МН · м	N, кВт
1	1,45	0,85	36,96	96	589	16,50	0,41	17,87	0,259	3821
2	1,04	0,41	28,28	129	800	13,46	0,30	14,26	0,155	3180
3	0,74	0,30	28,85	157	836	12,54	0,25	13,10	0,113	3257
4	0,7	0,04	5,4	196	846	9,96	0,19	8,41	0,053	1887

2.2. Розрахунок продуктивності прокатного стану НСХП 1680

На підставі хронометражних даних, проводимо теоретичний розрахунок для основних агрегатів Ач, Агод, по формулах з роботи [1].

$$A_4 = 3600 \times G / T, \text{ м/ч} \quad (2.32)$$

де G – маса штаби, що прокатується;

T – темп прокатки;

Визначаємо τ_y, τ_3, L_y, L_3 :

$$\tau_y = 10,2 / 0,55 = 18,5 \text{ с};$$

$$\tau_3 = 10,2 / 0,65 = 15,7 \text{ с};$$

$$L_y = (10,2 / 2) \cdot 18,5 = 94 \text{ м};$$

$$L_3 = (10,2 / 2) \cdot 15,7 = 80 \text{ м}.$$

Час та довжина ділянки шва дорівнюють:

$$\tau'_{uu} = (10,2 - 4) / 0,55 = 11,3 \text{ с};$$

$$\tau'_{uu} = (10,2 - 4) / 0,65 = 9,5 \text{ с};$$

$$L'_{uu} = (10,2 / 2) \cdot 11,3 = 58 \text{ м};$$

$$L'_{uu} = (10,2 / 2) \cdot 9,5 = 48 \text{ м}$$

$$L_{uu} = 58 + 48 = 106 \text{ м}.$$

Довжина штаби дорівнює:

$$L = 16,0 / 0,0009 \cdot 1,03 \cdot 7,85 = 1742 \text{ м};$$

$$L_n = L_M = 1742 - 94 - 80 - 106 = 1462 \text{ м}.$$

Час прокатки на максимальній швидкості:

$$\tau_n = 1462 / 10,2 = 143,3 \text{ с.}$$

Машиний час прокатки

$$\tau_m = 18,5 + 15,7 + 11,3 + 9,5 + 143,3 = 198,3 \text{ с.}$$

Визначаємо ритм прокатки:

$$T = t_m + t_n;$$

$$T = 198,3 + 14 = 212,3 \text{ с.}$$

Визначаємо продуктивність стану за годину:

$$A_v = 3600 \times 16 \times 0,96 / 212,3 \times 1,039 = 250 \text{ т/ч.}$$

Річне виробництво прокату на безперервному стані гарячої прокатки 1680 або на іншому стані роблять по формулі:

$$A = A_2 \cdot T_\phi,$$

де A_2 – годинне виробництво, *т/година*; T_ϕ – фактичний час роботи в годинах.

Визначаємо фактичний час роботи стана в рік

$$T_\phi = NB \left(1 - \frac{K\Pi}{100} \right),$$

де NB - номінальний час, годин.

КП - капітальні ремонти.

Плановане й простої 10 % від номінального часу

$$НВ = [КВ - (ВД + ПД + КР + ППР)] ЧС * ДС,$$

де КВ - календарний час - 365 доби

ВД і ПД - вихідні й святкові дні (стан працює за графіком = 0)

КР - простої на капітальний ремонт 4 доби.

ППР - планово - попереджувальні ремонти 12 діб./ рік.

ЧС - число змін роботи в добу 3 зміни

ДС - тривалість зміни 8 годин

$$НВ = [365 - (0 + 0 + 4 + 12)] * 3 * 8 = 349 * 3 * 8 = 8376 \text{ годин}$$

$$T_{\phi} = 8376 \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 7538,4 \text{ годин}$$

$$\text{Проектний варіант } A_{\text{ср}} = 7538,4 \times 250 = 1884600 \text{ т /рік.}$$

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок на міцність станини робочої кліті

Станини робочої кліті – відповідальні деталі прокатного стану. У них монтують подушки валків, а також інші пристрої і механізми, що забезпечують задану точність прокатки і продуктивність стану. Весь тиск металу на валки, що виникає при прокатці, сприймається станинами. Тому при конструюванні і виготовленні станин особливу увагу приділяють їхній міцності.

По конструкції станини бувають закритого і відкритого типу. Станина закритого типу використовується на безперервному 4-х клітьовому стані холодної прокатки 1680 ПАТ МК Запоріжсталь (рис. 3.1), являє собою литу масивну жорстку раму; у середині її зроблене вікно для установки в ньому подушок валків; унизу станина має припливи (лабети). У припливах передбачені отвори для болтів, якими станини кріплять до плитовин.

На рис. 3.1 представлений загальний вид чотирихвалкової кліті неперервного стану 1680 для холодної прокатки штаби (шириною до 1520 мм товщиною до 0,5 мм).

Робоча кліть складається із двох сталевих литих станин 1 масою кожна 98 т, що характеризується великою твердістю; валків з подушками 2, гідравлічного пристрою для зрівноважування верхніх валків, натискного механізму 3, плоского провідного стола, і площадки натискного пристрою 4.

Станини з'єднані між собою і установлені на плитовини. Робочі валки обертаються на чотирирядних конічних роликівих підшипниках 260/400×255 мм. На станині гідравлічні циліндри між подушками (діаметром 120 мм при тиску рідини 10 МПа) розраховані не тільки на зрівноважування верхнього робочого валка, але і на вибір зазорів підшипниках верхнього

робітника і опорного валків. Опорні валки встановлені на підшипниках рідинного тертя діаметром 900 (ПЖТ - 900).

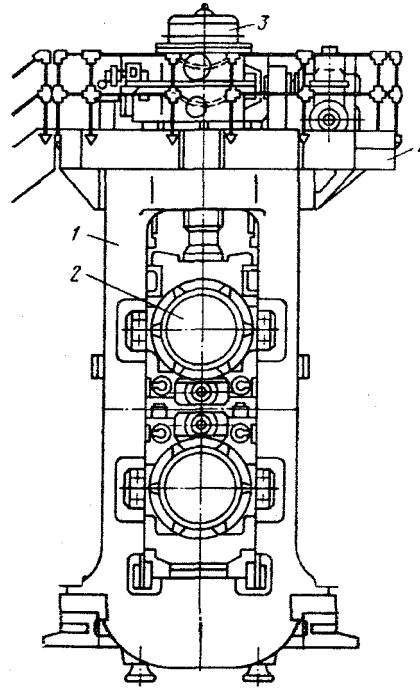


Рисунок 3.1 – Загальний вид робочої кліті прокатного стану

Виконати розрахунок на міцність і визначити твердість станини робочої кліті стану кварту для холодної прокатки штаби. Максимальне зусилля на натискний гвинт.

Побудова нейтральної лінії станини, що проходить через центри ваги основних розрахункових перетинів станини.

Перетин А - А верхньої поперечки. Площа перетину:

$$F = F_1 - F_2 - F_3 = BH - b_1h_1 - b_2h_2, \quad (3.1)$$

де F - площа поперечного переріза;

B - ширина стійки;

H - висота стійки.

Статичний момент перетину щодо осі X - X:

$$S = F_1 \frac{H}{2} - F_2 \frac{h}{2} - F_3 \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right), \quad (3.2)$$

Визначимо центр ваги:

$$y_c = \frac{S}{F}, \quad (3.3)$$

Момент інерції перетину щодо осі $x_1 - x_1$, що проходить через центр ваги, тому що середній перетин верхньої поперечки ослаблено отвором для натискної гайки і натискного гвинта і при розточенні на верстаті цього отвору в перетині виникають концентратори напруг, то для забезпечення необхідного запасу міцності станини конструктивно приймають розміри цього перетину такими, щоб момент інерції перетину верхньої поперечки I_1 був більше моменту інерції перетину нижньої поперечки I_3 (рис. 3.2).

Момент інерції перетину щодо осі $x_1 - x_1$ проходить через центр ваги:

$$I_A = I_1 - I_2 - I_3, \quad (3.4)$$

$$I_1 = \frac{BH^3}{12} + a^2 F = BH \frac{H^2}{12} + BH \left(y_c - \frac{H}{2} \right)^2 + BH \left[\frac{H^2}{12} + \left(y_c - \frac{H}{2} \right)^2 \right], \quad (3.5)$$

$$I_2 = \frac{b_1 h_1^3}{12} + a_1^2 F_1, \quad (3.6)$$

$$I_3 = \frac{b_2 h_2^3}{12} + a_2^2 F_2, \quad (3.7)$$

Мінімальний момент опору перетину:

$$W_A = \frac{I_A}{I_C}, \quad (3.8)$$

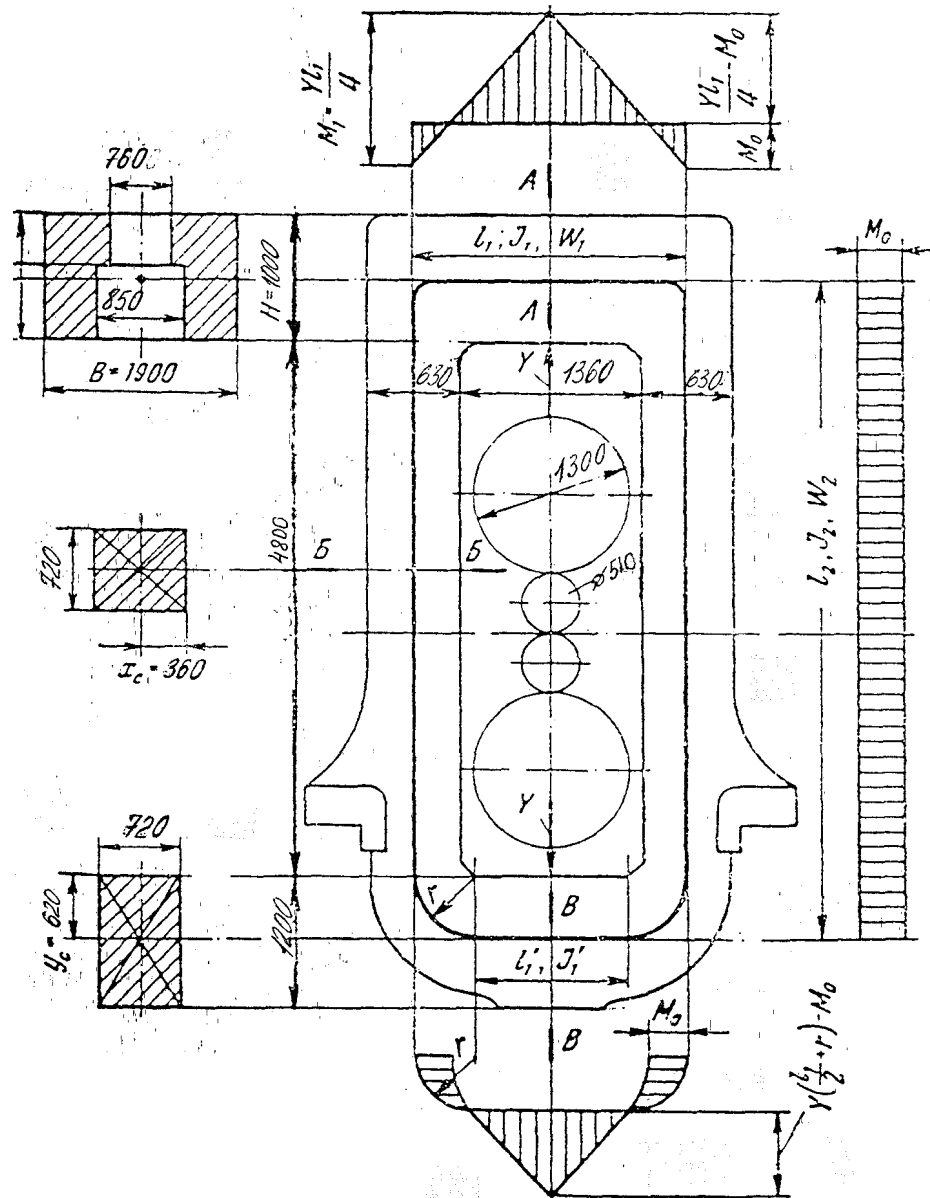


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку станини чотирьохвалкового стана

1680

Перетин Б - Б стійки станини:

$$F = BH, \quad (3.9)$$

$$W_B = \frac{I_B}{X_c}, \quad (3.10)$$

Перетин А - А розраховуємо по формулах (3.1) – (3.8):

$$F = 1,51 \cdot 1,3 - 0,85 \cdot 0,65 - 0,74 \cdot 0,65 = 0,93 \text{ м}^3;$$

$$S = \frac{1,963}{0,65} - 0,552 \cdot 0,375 - 0,481(0,65 + 0,375) = 0,628 \text{ м}^3;$$

$$y_c = \frac{0,628}{0,93} = 0,62 \text{ м} = 620 \text{ мм};$$

$$I_1 = 1,963 \left[\frac{1,3^2}{12} + \left(0,67 - \frac{1,3}{2} \right)^2 \right] = 0,277 \text{ м}^4;$$

$$I_2 = 0,85 \cdot 0,65 \left(\frac{0,65}{12} + \left(0,65 - \frac{0,65^2}{2} \right) \right) = 0,085 \text{ м}^2;$$

$$I_3 = 0,481 \left(\frac{0,65^2}{12} + \left(0,67 - \frac{0,65^2}{2} \right) \right) = 0,074 \text{ м}^2;$$

$$I_A = 0,277 - 0,085 - 0,074 = 0,117 \text{ м}^4;$$

$$W_A = \frac{0,117}{0,62} = 0,17 \text{ м}^3.$$

Перетин Б - Б розраховуємо по формулах (3.9) – (3.10):

$$F = 0,74 \cdot 0,775 = 0,558 \text{ м}^2;$$

$$x_c = 0,63 \text{ мм} = 630 \text{ м};$$

$$W_B = \frac{0,028}{0,63} = 0,044 \text{ м}^3.$$

Перетин В - В нижньої поперечки:

$$F = 0,74 \cdot 1,2 = 0,96 \text{ м}^2;$$

$$I = \frac{0,96^3}{12} = 0,115 \text{ м}^4;$$

$$W_B = \frac{0,96^2}{6} = 0,192 \text{ м}^3.$$

Знаючи положення центрів ваги перетину, будемо нейтральні лінії поперечин і стійок, з'єднуємо їхнім закругленням у кутах і в такий спосіб одержуємо тверду раму, навантажену вертикальними силами Y .

Статично невизначений момент у кутах рами:

$$k_1 = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_B}{I_B}, \quad (3.11)$$

$$k_2 = \frac{l_2}{l_1}, \quad (3.12)$$

$$k_3 = \frac{I_1}{I_3}, \quad (3.13)$$

$$M_1 = \frac{Yl_1}{4}, \quad (3.14)$$

Статичний невизначений момент у кутах рами визначаємо з формул (3.11) – (3.14):

$$k_1 = \frac{0,115}{0,028} = 4,11;$$

$$k_2 = \frac{6,31}{2,28} = 2,76;$$

$$k_3 = \frac{0,115}{0,062} = 1,8;$$

$$M_1 = \frac{9 \cdot 2,285}{4} = 5,14 \text{ MN} \cdot \text{м};$$

$$M_o = 5,14 \frac{1 + 4 \cdot 0,262(1,15 \cdot 1,8 \cdot 0,262 + 1)}{2(1 + 4,11 \cdot 2,76 + 17 \cdot 1,8 \cdot 0,262)} = 0,48 \text{ MN} \cdot \text{м};$$

$$M_A = 5,14 \frac{1}{2(1 + 4,11 \cdot 2,76)} = 0,208 \text{ MN} \cdot \text{м}.$$

Таким чином, з обліком закруглення в кутах рами M_o майже у два рази більше, однак в обох випадках M_o значно менше M_1 .

Момент, що згинає, у поперечці визначаємо по формулі (3.15):

$$M_n = M_1 - M_c = 5,14 - 0,48 = 4,66 \text{ MN} \cdot \text{м}, \quad (3.15)$$

Напруга вигину в середині поперечки, верхньої - перетин А - А по формулі (3.16):

$$\sigma_A = \frac{M_{II}}{W_A} = \frac{4,66 \cdot 10^9}{0,17 \cdot 10^9} = 27,4 \text{ Н / мм}^2, \quad (3.16)$$

Нижній, перетин В - В по формулі (3.17):

$$\sigma_B = \frac{M_{II}}{W_B} = \frac{4,66 \cdot 10^9}{0,192 \cdot 10^9} = 24,2 \text{ Н / мм}^2, \quad (3.17)$$

Напруга розтягання в стійці, перетин Б - Б:

$$\sigma_B = \frac{0,48 \cdot 10^9}{0,071 \cdot 10^9} + \frac{9 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,558 \cdot 10^6} = 14,8 \text{ Н / мм}^2.$$

Станина виготовлена зі сталі марки 35Л и після виливка має $\sigma_B = 500 \text{ Н / мм}^2$

Запас міцності з виразу (3.18):

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma_{MAX}} = \frac{500}{24,2} = 20,6, \quad (3.18)$$

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

$$n_f = \frac{1}{2k} \cdot \frac{\sigma_B}{\sigma} = \frac{1}{5,6} \cdot \frac{500}{27,4} = 3,2, \quad (3.19)$$

Припустимий мінімальний запас для станини по втомленій міцності $[n_f] = 1,5 < 2,9$. [5]

Деформація станини у вертикальному положенні, приймаємо $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Н / мм}^2$:

- розтягання кожної стійки силою $Y/2$ з вираження (3.20):

$$f_1 = \frac{Yl_2}{2EF_2} = \frac{9 \cdot 10^6 \cdot 6310}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,555 \cdot 10^6} = 0,242 \text{ мм}, \quad (3.20)$$

- прогин двох поперечин від вигину по формулі (3.21):

$$f_2 = \left(\frac{Yl_1}{6} - M_o \right) \frac{l^2}{4EI_1} = \left(\frac{9 \cdot 10^6 \cdot 2,285}{6} - 0,48 \cdot 10^6 \right) \frac{2,285}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,117 \cdot 10^{12}} = 0,18 \text{ мм}, \quad (3.21)$$

- деформація двох поперечин від дії поперечних сил по формулі (3.22):

$$f_3 = 1,2 \frac{Yl_1}{2GF_1} = \frac{9 \cdot 10^6 \cdot 2,285}{2 \cdot 0,75 \cdot 10^5 \cdot 0,96 \cdot 10^5} \cdot 1,2 = 0,17 \text{ мм}.$$

Сумарна деформація станини у вертикальному напрямку в площині осі натискного гвинта:

$$\Sigma f_{CT} = 0,242 + 0,18 + 0,17 = 0,592 \text{ мм}.$$

Отримані результати розрахунку станини на міцність зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок станини на міцність

Перетин А – А верхньої поперечки				
$F,$ m^2	$S,$ mm^2	$u_c,$ m	$W_A,$ m^3	$I_A,$ m^4
0,93	0,628	0,62	0,17	0,117
Перетин Б – Б стійки станини				
$F,$ m^2	$X_c,$ mm	$I_B,$ m^4	$W_B,$ m^3	
0,5587	0,63	0,028	0,044	
Перетин В – В нижньої поперечки				
$F,$ m^2	u_c	$I_B,$ m^4	$W_B,$ m^3	
0,96	0,62	0,1152	0,192	
Статично невизначений момент у кутах рами				
κ_1	κ_2	$M_1,$ $MH \cdot m$	$M_2,$ $MH \cdot m$	
4,11	2,76	5,14	0,208	
Деформація станини у вертикальному напрямку				
$f_1,$ mm	$f_2,$ mm	$f_3,$ mm	$\Sigma f_{cc},$ mm	
0,242	0,18	0,17	0,592	

3.2. Розрахунок тихохідного натискного механізму

На рис. 3.3 наведена кінематична схема натискного механізму чотирьохвалкової робочої кліті стана 1680. Редуктор натискного механізму змонтований в окремому корпусі, установленому на верху станини. Крайне верхнє положення натискного гвинта фіксується командо апаратом 10, з'єднаним з маточиною черв'ячного колеса через конічну шестеренну

передачу 7 і кінематичний редуктор 8. положення валків контролює сельсин-датчик 9, що передає імпульс на сельсин-приймач, установлений на пості у вальцювальника.

При необхідності користування одним натискним гвинтом (для настроювання валків) електромагнітна муфта 1 вимикається.

Дано максимальне осьове зусилля на натискний гвинт при прокатці $Y = 8,5 \text{ MN}$; максимальна швидкість переміщення гвинта по вертикалі $v = 0,25 \text{ м/с}$; режим роботи механізму – повторно-короткочасний при 15-20 вклученнях у хвилину.

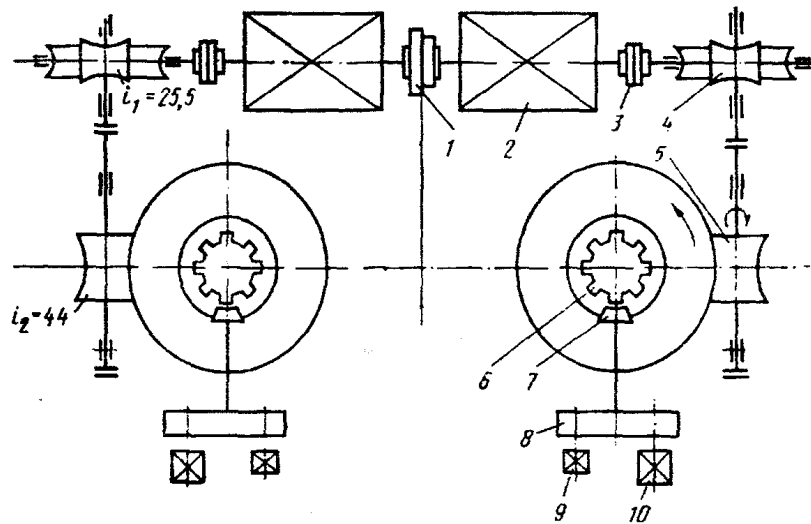


Рисунок 3.3 – Кінематична схема натискного механізму

Натискний гвинт і гайка

Натискний гвинт має упорну різьбу УП 440мм із кроком $s=10\text{мм}$; діаметри різьби: зовнішній $d = 440\text{мм}$, внутрішній $d_1 \approx d - 1,7s = 358\text{мм}$, середній $d_2 = d - 0,75s = 440 - 0,75 \times 10 = 404\text{мм}$; $\alpha = \arctg s / \pi d_2 = \arctg 0,038$; $\alpha = 2^\circ 10'$.

Напруга стиску в перетині нижнього опорного кінця гвинта, що має найменший діаметр $d_n = 350\text{мм}$, визначаємо по формулі:

$$\sigma_{сж} = 4Y / \pi d_n^2, \quad (3.23)$$

Напруга крутіння в тілі гвинта при $M_B = 61 \text{кН} \cdot \text{м}$, визначається по формулі:

$$\tau = M_B / 0,2D^3, \quad (3.24)$$

Матеріал гвинта – сталь 40ХН. Натискна гайка висотою $H = 720$ мм і зовнішнім діаметром $D = 550$ мм; число витків різьблення $z = H/s = 550/10 = 55$.

Напруга зминання між витками гвинта і гайки визначаємо з вираження:

$$\sigma_{см} = 4Y / \pi(d^2 - d_1^2)z, \quad (3.25)$$

Напруга зминання по площі зіткнення гайки зі станиною:

$$\sigma_{см} = 4Y / \pi(D^2 - D_{отв}^2), \quad (3.26)$$

З формули (3.23) визначимо напруга стиску в перетині нижнього опорного кінця гвинта:

$$\sigma_{см} = 4 \cdot 8,5 \cdot 10^6 / 3,14 \cdot 350^2 = 89 \text{МПа}.$$

Напруга крутіння в тілі гвинта визначимо з виразу (3.24):

$$\tau = 6,1 \cdot 10^6 / 0,2 \cdot 350 = 0,76 \text{Н} / \text{мм}^2 = 76 \text{МПа}.$$

Напруга зминання між витками гвинта і гайки знаходимо з виразу (3.25):

$$\sigma_{см} = 4 \cdot 8,5 \cdot 10^6 / 3,14(440^2 - 358^2)55 = 11,8 \text{ Н / мм}^2 = 11,8 \text{ МПа}.$$

Напруга зминання по площі зіткнення гайки зі станиною визначаємо по формулі (3.26):

$$\sigma_{см} = 4 \cdot 8,5 \cdot 10^6 / 3,14(750^2 - 470^2) = 33 \text{ Н / мм}^2 = 33 \text{ МПа}.$$

Матеріал гайки бронза марки АЖ9-4л, $[\sigma] \approx 80 \text{ МПа}$.

У періоди пауз між пропусками металу через валки на торці натискних гвинтів діє зусилля від пристрою зрівноважування верхнього валка. На один гвинт це зусилля становить 150 кН. Момент необхідний для обертання гвинта в період пауз, знаходимо по формулі:

$$M_B = Y[\mu_n \cdot d_n / 3 + d_{cp} / 2 \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)], \quad (3.27)$$

де Y – зусилля, що діє на натискний гвинт;

d_n – діаметр п'яти натискного гвинта;

μ_n – коефіцієнт тертя в п'яті;

d_{cp} – середній діаметр різьблення натискного гвинта;

α – кут підйому різьблення;

φ – кут тертя в різьбленні між натискною гайкою й гвинтом; звичайно (при нормальному змащенні різьблення) приймають $\mu_n = 0,1$, тоді $\varphi = 4^\circ 34'$,

$d_n = 520 \text{ мм}$; $\mu_p = 0,08$.

При опусканні гвинта:

$$M'_B = 150[0,52 / 3 \cdot 0,1 + 0,404 / 2 \cdot \text{tg}(2^\circ 10' + 4^\circ 34')], \quad (3.28)$$

При підйомі гвинта:

$$M''_B = 150 \left[0,52/3 \cdot 0,1 + 0,202 \operatorname{tg}(4^\circ 34' + 2^\circ 10') \right] \quad (3.29)$$

З виразу (3.27) визначаємо момент необхідний для обертання гвинта в період пауз, при опусканні гвинта:

$$M'_B = 150(0,017 + 0,202 \cdot 0,118) = 6,1 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

З виразу (3.28) визначаємо момент необхідний для обертання гвинта в період пауз, при підйомі гвинта:

$$M''_B = 150(0,017 + 0,202 \cdot 0,042) = 3,8 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Кожний натискний гвинт приводиться від окремого електродвигуна постійного струму потужністю 180 кВт, 500 об/хв.; номінальний момент електродвигуна при $\omega_H = \pi / 30 \cdot n_n$:

$$M_H = N_H / \omega_H = 30 / \pi \cdot N_H / n_n \approx 9,56 \cdot N_H / n_n, \quad (3.30)$$

$$M_H = 9,56 \cdot 180 / 500 = 3,44 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Між двигуном і натискним гвинтом є зубчаста передача з передаточним числом $i = 4,5$; к. п. буд. передачі $\eta = 0,97$. моменти на гвинті (статичні, від постійного навантаження $Y = 150$ кН), наведені до вала електродвигуна:

$$M'_{cm} = 6,1(4,5 \cdot 0,95) = 1,42 \text{кН} \cdot \text{м};$$

$$M''_{cm} = 3,8 / (4,5 \cdot 0,95) = 0,89 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

При повторно-короткочасному режимі електродвигуни працюють при часто повторюваних прискореннях і з (пуск - гальмування). Для розгону

оберткових мас від електродвигуна будуть потрібні додаткові моменти і потужність.

Визначимо цей додатковий момент.

Моменти інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$: якоря електродвигуна 25 (по каталозі); проміжних шестірень 220; натискного гвинта 80. Наведений до вала електродвигуна момент інерції всіх оберткових мас.

$$I_{np} = 25 + 220 + 80/i^2 = 25 + 300/4,5^2 = 40 \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

У період розгону і гальмування електродвигун здатний працювати з кутовим прискоренням $\varepsilon = d\omega/dt$ і розвивати динамічний момент:

- при опусканні натискного гвинта при $\varepsilon = 501/c^2$:

$$M'_{дин} = I_{np}\varepsilon, \quad (3.31)$$

$$M'_{дин} = 40 \cdot 50 = 2000 \text{кг} \cdot \text{м} / c^2 \text{м}(\text{Н} \cdot \text{м}) = 2 \text{кН} \cdot \text{м};$$

- при підйомі натискного гвинта при $\varepsilon = 601/c^2$:

$$M''_{дин} = 40 \cdot 60 = 2400 \text{Н} \cdot \text{м} = 2,4 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Моменти на валу електродвигуна в період розгону:

- при опусканні натискного гвинта:

$$M'_{дв} = M'_{ст} + M'_{дин}, \quad (3.32)$$

- при підйомі натискного гвинта:

$$M''_{дв} = M''_{ст} + M''_{дин}, \quad (3.33)$$

З виразів (3.32) – (3.33) визначимо моменти на валу електродвигуна в період розгону при опусканні і при підйомі натискного гвинта:

$$M'_{\text{де}} = 1,42 + 2,0 = 3,42 \text{кН} \cdot \text{м};$$

$$M''_{\text{де}} = 0,89 + 2,4 = 3,29 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Висновок: при повторно-короткочасному режимі роботи електродвигуна основне навантаження становлять динамічне (а не статистичні) моменти. Тому що $M_{\text{де max}} = 3,42 \text{кН} \cdot \text{м}$ менше $M_H = 3,44 \text{кН} \cdot \text{м}$, то електродвигун забезпечить заданий режим роботи. Крім того, електродвигун допускає короткочасне двохкратне перевантаження по моменту, що може бути використано при пікових навантаженнях (наприклад, при відводі натискних гвинтів при пробуксовці валків по металу, що прокатують коли зусилля на гвинт більше прийнятого вище в розрахунку при визначенні M_H).

3.3. Розрахунок робочих і опорних валків

У стані кварта встановлена чотири валки: два робочі (меншого діаметра) і два опорних (більшого діаметра). При прокатуванні тиск металу з робочих валків передається на опорні і сприймається підшипниками.

Виконано розрахунок робочих, опорних валків стана кварта безперервної прокатки для холодної прокатки штаби.

Для опорного валка: діаметр бочки валка 1370 мм, довжина бочки 1760 мм, довжина валка 5150 мм, діаметр шийки валка 734 мм, довжина шийки опорного валка 1695 мм.

Для робочого валка: діаметр бочки валка 490 мм, довжина бочки валка 1680 мм, довжина валка 3380 мм, довжина шийки валка 850 мм, діаметр шийки 260 мм.

Максимальний крутний момент на одному робочому валку $M_{\text{кр}} = 259 \text{кН} \cdot \text{м}$. Схема до розрахунку наведена на рис. 3.4.

Визначаємо розмірні параметри валків і виконуємо ескіз валкового вузла й схему його навантаження (рис. 3.5).

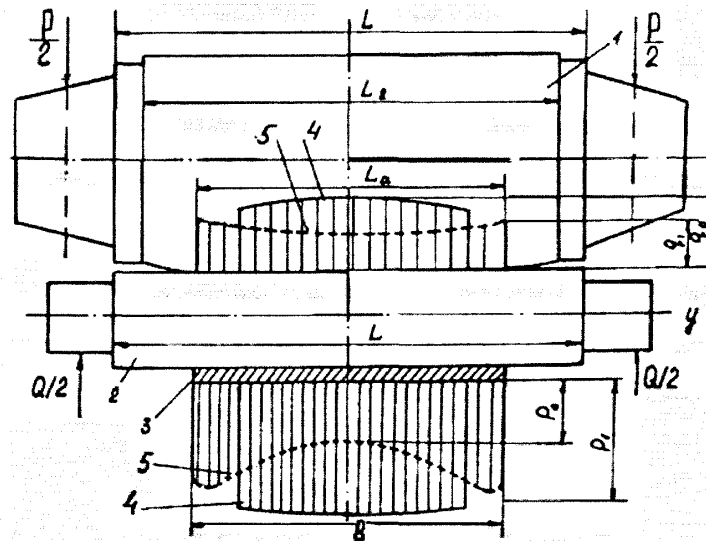
Робочі валки мають циліндричні шейки, тому $D_{БР} = 470 \text{ мм}$, а після останньої перешліфовки:

$$D_{БР \text{ min}} = D_{БР} - k_{ПР} \cdot D_{БР}, \quad (3.32)$$

де $k_{ПР}$ - коефіцієнт переточування.

$$D_{БР \text{ min}} = 470 - 0,040 \cdot 470 = 451 \text{ мм}.$$

$$a' = l_{БР} + 2 \frac{l_{шп}}{2} = 1680 + 2 \cdot \frac{850}{2} = 2530 \text{ мм}.$$



1 – опорний валок; 2 – робочий валок; 3 – штаба; 4 – епюри при прокатці вузьких штаб; 5 – теж при прокатці широких штаб

Рисунок 3.4 – Валки до розрахунку чотирьохвалкового стана

Опорні валки мають конічні шейки, тому розраховуємо за аналогією з робочими валками:

$$D_{БО \text{ min}} = 1370 - 0,060 \cdot 1370 = 1288 \text{ мм};$$

$$L_{BO} = 1760 \text{ мм}; l_{uo} = 1695 \text{ мм}; d_{uo} = 734 \text{ мм}; r = 130 \text{ мм}.$$

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{l_{uo}}{2} = \frac{1695}{2} = 848 \text{ мм}; \\ c' &= c - r = 848 - 130 = 718 \text{ мм}; \\ a &= L_{BO} + 2 \frac{l_{uo}}{2} = 1760 + 1695 = 3455 \text{ мм}. \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

Визначаємо розподіл зусилля між робочими і опорними валками по формулах:

$$\frac{P_{on}}{P_p} = \left(\frac{D_{on}}{D_p} \right)^4, \quad (3.34)$$

$$P_p = P \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{D_{on}}{D_p} \right)^4}, \quad (3.35)$$

$$P_{on} = P - P_p, \quad (3.36)$$

Визначаємо розподіл зусилля між робочими і опорними валками по формулах (3.34) – (3.36):

$$P_{\max} = 17,87 \approx 18 \text{ МН};$$

$$\left(\frac{D_{on}}{D_p} \right)^4 = \left(\frac{1370}{470} \right)^4 = 72,2;$$

$$P_p = 18 \cdot \frac{1}{1 + 72,2} = 0,24 \text{ МН};$$

$$P_{on} = 18 - 0,24 = 17,76 \text{ МН}.$$

Таким чином, робочі валки сприймають тільки $\frac{0,24}{18} \cdot 100 = 1,3\%$ від загального тиску на валки при прокатуванні.

Еквівалентна сила вигину бочки робочого валка:

$$P_{zp} = \sqrt{240^2 + 240^2} = 339 \text{ кН}.$$

Напруга робочого валка вигину:

$$M_p = \frac{P_p}{4} \left(a' - \frac{b}{2} \right), \quad (3.37)$$

Максимальна напруга вигину посередині бочки валка:

$$\sigma_p = \frac{M_p}{0,1 D_{BP \min}^3}, \quad (3.38)$$

Напруга крутіння на шейку провідного валка:

$$\tau_p = \frac{M_{kp}}{0,2 D_{BP \min}^3}, \quad (3.39)$$

Робочі валки куті з легованої сталі, тому еквівалентна напруга визначається по:

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{bp}^2 + 3 \cdot \tau_{bp}^2}, \quad (3.40)$$

Визначимо максимальний згинальний момент посередині бочки по формулі (3.37):

$$M_p = \frac{0,339}{4} \cdot \left(2,53 - \frac{1,1}{2} \right) = 0,167 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Визначимо максимальна напруга вигину з виразу (3.38):

$$\sigma_p = \frac{0,167}{0,1 \cdot 0,45^3} = 18 \text{ МПа}.$$

Напруга крутіння на шейку провідного валка визначимо з виразу (3.39):

$$\tau_{Br} = \frac{0,259}{0,2 \cdot 0,45^3} = 14,2 \text{ МПа};$$

Еквівалентна напруга по формулі (3.40):

$$\sigma_a = \sqrt{18^2 + 3 \cdot 14,2^2} = 30,5 \text{ МПа}.$$

Напруга в шейку робочого валка вигину:

$$\sigma_{rui} = \frac{P_r l_{rui}}{0,4 d_{rui}^3}, \quad (3.41)$$

Напруга крутіння в шейку робочого валка:

$$\tau_{rui} = \frac{M_{кр} \psi}{0,2 d_{rui}^3}, \quad (3.42)$$

Запас міцності бочки й шейки робочого валка при спільній дії напруг вигину й крутіння, тобто по еквівалентних напругах:

$$n_{p\delta} = \frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{e\delta}}, \quad (3.43)$$

Напруга в шейку робочого валка вигину знаходимо з виразу (3.41):

$$\sigma_{rui} = \frac{0,24 \cdot 0,85}{0,4 \cdot 0,26^3} = 29 \text{ МПа}.$$

Напруги крутіння в шейку валка по формулі (3.42):

$$\tau_{pm} = \frac{0,11 \cdot 1,7}{0,2 \cdot 0,23^3} = 53,2 \text{ МПа}.$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_e = \sqrt{29^2 + 3 \cdot 53,2^2} = 96,6 \text{ МПа}.$$

Запас міцності бочки й шейки робочого валка з виразу (3.43):

$$n_{pm} = \frac{750}{30,5} = 24,6 \gg [n] = 5.$$

Опорні валки розраховуємо на міцність тільки по напругах вигину.

Момент і напруга вигину по середині бочки по:

$$M_{onB} = \frac{P_{on}}{4} \left(a - \frac{b}{2} \right), \quad (3.44)$$

$$\sigma_{onB} = \frac{M_{onB}}{0,1 D_{onB} \text{ min}^3}, \quad (3.45)$$

Напруга в шейку: у перетині 2 - 2 по:

$$\sigma_{onu2} = \frac{P_{on} \cdot l_{uon}}{0,4 (d_{uon} + r_{on})^3}, \quad (3.46)$$

у перетині 1 - 1:

$$\sigma_{onu1} = \frac{P_{on2} \left(\frac{l_{uon}}{2} - r \right) \psi}{0,1 d_{uon}^3}, \quad (3.47)$$

Момент і напруга вигину по середині бочки визначаємо з формул (3.44) – (3.45):

$$M_{опБ} = \frac{17,76}{4} \left(3,45 - \frac{1,1}{2} \right) = 12,87 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_{опБ} = \frac{12,87}{0,1 \cdot 1,28^3} = 61,4 \text{ МПа}.$$

Напруга в шийці:

Перетин 2 - 2:

$$\sigma_{опш2} = \frac{17,76 \cdot 1,69}{0,4(0,73 + 0,13)^3} = 117,9 \text{ МПа}.$$

Запас міцності шийки опорного валка визначаємо по перетині 1 - 1:

$$n_{опш1} = \frac{\sigma_{\epsilon}}{\sigma_{опш1}} = \frac{750}{117,9} = 6,4 < [n] = 5$$

Висновок: розрахунок на міцність робочих і опорних валків показали, що за даних умов навантаження (сила прокатки $P = 17,87$ МН, крутний момент $M = 259$ кН·м) запас міцності шийки опорного валка по перетині 2 – 2 дорівнює 6,4.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів процесів виробництва

Згідно статті 44 Закону України «Про охорону праці» [13] передбачається відповідальність робітників та роботодавця за порушення законів та інших нормативно-правових актів про охорону праці у вигляді: дисциплінарної, адміністративної, кримінальної відповідальності відповідно до чинного законодавства, а також до сплати штрафу в судовому порядку.

У даному розділі бакалаврської роботи розглянуті і проаналізовані основні шкідливі і небезпечні чинники, які діють в умовах ЦХП-1 ВАТ «Запоріжсталь», наведено інформацію про діючі нормативно-правові акти з охорони праці, узагальнені питання пожежної профілактики.

ЦХП-1 відноситься до II б категорії за ДСН 3.3.6.042-99, так як витрата енергії працівника становить приблизно 178 ккал/год [14]. На безперервному стані холодної прокатки 1680 застосовується безперервний процес прокатки, тобто метал знаходиться відразу у всіх клітках, це зменшує час процесу прокатки і кількість допоміжних операцій, також знижує можливі випадки травматизму.

Слід зазначити, що умови роботи на реверсивному стані 1680 ускладнюються тим, що робоча зона розташована в безпосередній близькості до стану і не захищена закритою кабіною. В повітрі можлива наявність високомолекулярних жирних кислот, окису вуглецю, хлору. Тому реверсивний стан 1680 повинен бути обладнаний місцевою витяжкою.

На даний момент близько 80 % працівників цеху працюють в умовах, які наведені в таблиці 4.1. Їх робота відповідає III групі важкості (важкі фізичні роботи). Небезпечними і шкідливими виробничими факторами на стані є: рухомі і обертові частини машин і механізмів; розпечений метал; підвищена запиленість повітря; небезпека електротравм; шум; вібрація.

Таблиця 4.1 - Характеристика мікроклімату виробничого приміщення

Параметри мікроклімату	Фактичні		Нормативні значення мікроклімату по ДСН 3.3.6 042-99	
	в холодну пору року	в теплу пору року	в холодну пору року	в теплу пору року
Температура, °С	10-20	до 35	18-19	20-22
Відносна вологість, %	56-65	58-66	не більше 75	не більше 75 (при 24°С)
Швидкість руху повітря, м/с	до 0,6	до 0,8	Не більше 0,4	0,2-0,6

Основні шкідливі компоненти, що забруднюють повітря - пи́л, оксид вуглецю, діоксид кремнію, сірчана кислота [15]. Порівняльна характеристика вмісту цих речовин і їх гранично допустима концентрація у повітрі робочої зони наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Фактичні і нормативні концентрації шкідливих речовин

Показник	Запиленість, мг/м ³		Загазованість, мг/м ³		
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CO	NO ₂	H ₂ S
В умовах цеху	12,2	0,22	2	0,03	0,001
ГДК	4,0	1,0	20,0	0,04	0,008
Клас небезпеки за ГОСТ 12.1.005-88	III	III	IV	II	II

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення [17]. Незадовільне освітлення обтяжує проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці і гостроти зору, що може бути причиною травматизму і захворювань очей.

Таблиця 4.3 - Характеристика приміщень по характеру зорової роботи і необхідної освітленості згідно ДБН В.2.5-28-2006 [18]

Приміщення	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк	
		Факт	Норматив
ЦХП-1	VII	90-120	150-200

У виробничих умовах джерелами шуму є: механізми прокатних станів, механізми кранів, ручні механізовані інструменти, електричні машини, компресори, підйомно-транспортне, допоміжне устаткування (вентиляційні установки, кондиціонери).

На ділянці неперервного стану холодної прокатки 1680, внаслідок роботи обладнання, виникає підвищений шум 92 дБА при нормі 80 дБА [18].

У прокатному цеху вібрація володіє неоднорідністю по спектру частот і непостійністю в часі. Локальна вібрація залежить від контакту оператора з тілом, що коливається. Виробничими джерелами локальної вібрації є ручні механізовані машини ударної та обертальної дії пневматичним або електричним приводом. Інструменти ударної дії засновані на принципі вібрації. До них відносяться молотки, пневмотрамбовки. До ручних механізованих машин обертальної дії відносяться шліфувальні, свердлувальні машини, пили електромоторів.

Таблиця 4.4 - Оцінка чинників виробничого і трудового процесу слюсаря-механіка

№ з/п	Чинники виробничої середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії чинника за зміну, %
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Шкідливі хімічні речовини, міліграм/м ³ небезпеки 1 клас небезпеки 2 клас небезпеки 3 – 4 класи (SO ₂ – сірчистий ангідрид)	– – – 5	– – – 12,3	– – – 2,46	– – – –	– – – –	– – – 80

Продовження таблиці 7.4

1	2	3	4	5	6	7	8
2.	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	10	–	2,5	–	85
3.	Вібрація (спільна і локальна), дБ	–	–	–	–	–	–
4.	Шум, дБА	80	92	–	14	–	–
5.	Інфразвук, дБ	–	–	–	–	–	–
6.	Ультразвук, дБ	–	–	–	–	–	–
7.	Мікроклімат в приміщенні: • температура повітря ° С • швидкість руху повітря, м/с • відносна вологість, % • інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	18-22 0,2-0,6 75 –	10-35 0,6-0,8 56-66 –	2 – – –	– – – –	– – – –	100
8.	Атмосферний тиск	760	760				100
9.	Важкість і напруженість праці	2	2				100

Висновок: в таблиці 4.1 приведений перелік небезпечних та шкідливих факторів, таким чином є в наявності 3 чинники 1-2-3 ступеня.

4.2. Розробка заходів захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Роботи на стані пов'язані з низкою шкідливих і виробничих факторів. На ділянці прокатного стану – це, такі як шум при роботі клітей, а також при змотуванні смуг на моталках. Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха, беруші і шумові навушники. В таблиці 4.5 приведені технічні рішення по виробничій санітарії.

Таблиця 4.5 - Перелік технічних і санітарно-гігієнічних заходів захисту виробничого середовища і робочих місць

№ з/п	Небезпечні або шкідливі чинники	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
1.	Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки, засоби ЗІЗ	Звукопоглинання і обгороджування, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму в приміщенні оператора на робочому місці
2.	Випаровування токсичної дії	Витяжна вентиляція	Примусове механічне відсмоктування пари масел, що утворилася	Над станом
4.	Рухомі частки механізмів	Запобіжні пристрої, сітки, кожухи	Відключення і розрив ланцюга при перевантаженнях. Захист від зіткнення з рухомими частинами.	Навколо устаткування
5.	Метал, що переміщається		Захист від травм при падінні металу і його переміщенні	

Таблиця 4.6 - Технічні рішення по виробничій санітарії

№ з/п	Вид технологічної операції	Обладнання	Небезпечні і шкідливі фактори	Можливі дії
1.	Прокатка	Стан	Валки, що обертаються, рухома штаба, рольганги, моталки, привод. Небезпечний рівень струму і напруги: $I=30A$, $U= 380V$.	Травмування обслуговуючого персоналу при необачному контакті. Ураження електричним струмом при однофазному і двофазному дотику до струмоведучих частин.
2.	Транспортування металу	Мостовий Електромостовий кран	1.)Рухомі механізми міст і візок крана 2.)Метал, що транспортується, з масою до 5 тонн.	Механічні ушкодження. Травми від падіння металу.
3.	Допоміжні операції	Газоутворення (маслонапорні станції)	Горючі речовини, пари емульсолу.	Пожна небезпека.

4.2.1. Опалювання і вентиляція

Характер роботи в цеху холодної прокатки не пов'язаний з надмірними тепловиділеннями. Тому основні труднощі підтримки необхідного мікроклімату пов'язані: взимку і в перехідній період року з необхідністю

опалювання в приміщенні цеху, створення повітряних завіс на залізничних і автомобільних в'їздах до виробничої будівлі, скління ліхтарів і світлових отворів. У літній період, особливо в спекотних місяцях року, необхідно забезпечувати приплив охолодженого повітря природною або механічною вентиляцією.

4.2.2. Освітлення

У будівлі прокатного цеху передбачено природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові отвори в бокових стінах і ліхтарі (комбіноване освітлення).

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи (люмінесцентні ЛУБ - 80, ртутні високого тиску із виправленою кольоровістю ДРІ-400). Їх вибирають залежно від умов їх роботи і вимог до якості освітлення.

У прокатному цеху для загального освітлення застосовують світильники прямого світла типу «Універсаль» для місцевого - світильники типу «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення складає 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на один розряд.

В разі виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, яке забезпечує можливість продовження роботи або евакуацію персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на посту управління прокатним станом, пунктах управління систем водопостачання, вентиляції і каналізації, в машинному залі і диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь що вимагають обслуговування при аварійних режимах складає 5% освітленості, що нормується для загального робочого освітлення, але не менше 2 лк. Аварійне

освітлення для евакуації персоналу проходів і сходинок сходів не менше 0,5 лк. Прийняті значення освітленості вказані в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Прийняті значення освітленості.

Найменування ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість, (лк) і коефіцієнт запасу			Аварійне освітлення	
		Система комбінованого освітлення	Система спільного освітлення	Коефіцієнт запасу	Для робіт	Для евакуації
Ковпакові печі	IV	400	200	1,3	10	4
Прокатний стан	III	750	300	1,5	15	5

На ділянці стану основними потенційно небезпечними виробничими факторами є:

- пересування електромостових кранів;
- транспортерного візка з вантажем або без нього;
- частини механізмів кліті, що обертаються;
- рух штаби і листів по лінії стану;
- пересування рулонів по конвесах.

Пересування по території стану дозволяється лише по встановлених переходах, перехідних містках. При пересуванні або виконанні робіт працюючі мають бути уважні до сигналів електромостових кранів, до роботи світлової сигналізації, не перебувати під піднятим вантажем і на шляху руху передавальних візків.

Працівникові стану необхідно: прийняти і здати зміну на робочому місці і доповісти старшому майстрові, працювати в чистому, виправленому і правильно одягненому спецодягу і спец. взутті, належному по нормах для

кожної професії. Користуватися відповідними засобами захисту і запобіжними пристосуваннями, виконувати доручену роботу з дотриманням всіх вимог інструкцій по техніці безпеки і промислової санітарії, виконувати вказівки бригадира і майстра, виконувати вимоги попереджувальних написів і плакатів ТБ. Не приступати до роботи, якщо умови її виконання суперечать інструкції по техніці безпеки або іншому документу, що регламентує безпечне ведення робіт, а також без інструктажу по техніці безпеки при тимчасовому переведенні на інші роботи. Під час роботи бути уважним, не відволікатися і не відволікати інших, не допускати на робоче місце осіб що не мають відношення до роботи, виконувати правила пожежної безпеки, промислової санітарії і особистої гігієни, не залишатися байдужим до порушень інструкцій іншими робітниками - цим кожен вбереже себе і інших від нещасних випадків.

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

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

Працювати на стані забороняється:

- на механізмах, що не мають огорожі частин, що обертаються;
- обслуговувати на ходу і доторкатися до частин механізмів, що обертаються, заходити за огорожі рухомих частин механізмів;
- торкатися до електропроводів, рубильників і моторів щоб уникнути ураження електричним струмом;
- виконувати роботу в місцях, де немає габариту.

4.3. Електробезпека

Широке використання електричного струму для найрізноманітніших цілей додає питанням захисту від його дії на людський організм важливе значення.

Електробезпека – це комплекс заходів, спрямованих на запобігання ураженню людини електричним струмом.

Дія електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідки і навіть привести до смерті. Небезпека посилюється тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлена за допомогою наших органів чуття. Ймовірність смертельного результату при ураженнях електричним струмом велика. Вагомий вплив робить зовнішнє середовище.

У металургійних цехах ймовірність ураження збільшується, оскільки, спостерігається середовище з підвищеною температурою, що веде до перегріву організму і зниження його опору. Пониження атмосферного тиску збільшує небезпеку дії електричного струму. При збільшенні вмісту вуглекислого газу в повітрі чутливість організму до дії струму збільшується.

Велика кількість повітря навколишнього середовища, а також навколишнє оточення можуть посилювати або послаблювати небезпеку ураження струмом. Так струмопровідний пил, що утворюється в цеху, руйнуючи діє на ізоляцію електроустановок, різко знижуючи її опір і створюючи загрозу переходу напруги на корпуси, станини, і тому не потрібні струмопровідні і металеві частки електроустаткування, до яких може торкатися людина.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ БНіП 111-33-76 відноситься до зони класу В – 16 – це зони, розташовані в приміщеннях, в яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пари ЛЗР (легкозаймисті речовини) з повітрям не утворюються, а можливі тільки в наслідок аварій або несправностей.

Небезпека ураження електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушенні ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командо-апаратах, кінцевих вимикачах.

Для захисту від небезпечного рівня напруги використовують такі захисні пристрої як: ізоляція і обгороджування струмоведучих частин, заземлення, занулення, блокування, запобіжники плавкі або дистанційні, магнітні пускачі. Принцип їх дії та призначення полягає в захисті від дотику до струмоведучих та металевих частин обладнання, від високих рівнів струму та управління двигунами на відстані. Встановлюються ці пристрої довкола струмоведучих частин, біля корпусів електродвигунів, на пультах управління, у електросхемах та лініях приводу.

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5.9\text{A}$, напруга відповідно $U = 220, 380\text{В}$.

Вибір роду струму, величини напруги і струму електроприводів проводяться по основних техніко-економічних показниках.

При цьому враховуються будівельні витрати, первинна вартість устаткування, витрати на експлуатацію і ремонт, ступінь виконання необхідних умов пуску, гальмування реверсу, глибини і плавності регулювання швидкості обертання або інших параметрів надійності системи і простоти обслуговування, ККД, а також вимог пов'язаних з виконанням технологічного процесу.

Однією з основних причин ураження 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 під напругою. При сполученні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека ураження електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при дії електричного струму через дугу; безпосередньому зіткненні з відкритими струмопровідними частинами і

приводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або дії при помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, що випадково опинилися під напругою; при тому, що стосується струмопровідних частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, що випадково опинилися під напругою; при дії крокової напруги і ін.

Небезпеку електричних уражень створює різноманітне обладнання: електричний привід (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електрообладнання підіймально-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і так далі

Існують наступні заходи захисту від ураження електричним струмом:

- а) захист від дотику до струмоведучих частин;
- б) захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою;
- в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку, найбільш поширеному, конструктивно простою і дуже ефективною мірою захисту є захисне заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою полягають в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, що опинилися випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпеку ураження людини, що доторкнулася до них.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового дроту; називається захисним зануленням. Мета захисного занулення – перетворити пробій на корпус в коротке замикання між фазним і нульовим дротами, викликати тим самим протікання більшого струму через захист і швидко відключити пошкоджене обладнання від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більш 0,2сек. при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі при появі напруги на корпусі і інших металевих частках, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і додаткові захисні засоби. До основних відносяться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебувають під напругою. До додаткових відносяться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і що забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки і ін. Для забезпечення безпечної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно поряд з досконалим їх оснащенням засобами захисту так організувати їх експлуатацію, щоб була виключена будь-яка можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

Систематично повинні проводитися огляди електроустановок. В деяких випадках (у випадках необхідності) проводяться перемикання в електроустановках.

Схема мережі, а отже і режим нейтралі джерела струму, що живить цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки найоптимальнішою є чотиридротова мережа з глухозаземленою нейтраллю, оскільки вона дозволяє використовувати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотиридротової мережі 380В можна жити як силове навантаження – трифазну або однофазну, включаючи її між фазними дротами на лінійну напругу 380В, струм і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим дротами, тобто на фазну напругу 220 В.

4.4. Заходи з пожежної та техногенної безпеки

До заходів по запобіганню пожежам і обмеженню поширення вогню відносять:

1. Правильний вибір ступеня вогнестійкості будівель і межі вогнестійкості, окремих його елементів;
2. Ухвалення відповідно до норм величин площі між протипожежними перешкодами;
3. Дотримання протипожежних розривів між будівлями.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені шляхи евакуації і евакуаційні виходи допустимої протяжності і ширини, розміри дверних отворів, що забезпечують достатню пропускну спроможність, необхідне число сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Швидка локалізація і гасіння пожеж досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежної дії, під'їздів і доріг до будівель.

Прокатний цех відноситься до категорій В і Г, пожежонебезпеки (ГОСТ12.1004-81), оскільки в ньому обробляють речовини (метал), що не згорають, але є горючі масла. По вогнестійкості прокатний цех відносять до I і II ступеням. Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будівель промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії вибухонебезпечності виробництва, площі і висоти будівлі. Необхідний ступінь вогнестійкості громадських будівель визначається СНіП 2.08.01-85 залежно від площі і числа поверхів будівлі.

Будівельні матеріали і конструкції по займистості ділять на три групи: що не згорають, важкозаймисті і такі, що згорають. Протипожежні стіни в цеху є такими, що не згорають.

Для забезпечення безпечної евакуації в будівлі цеху розташовані евакуаційні виходи, ведучі з першого поверху назовні, в коридор, вестибюль. Їх число має бути не менше два і розташовані в протилежних місцях будівлі.

Найбільша відстань, що допускається, від найбільш віддаленого робочого місця до евакуаційного виходу для виробництва з категорією пожежонебезпеки Г, І і ІІ ступенем вогнестійкості не нормується. Ширина шляхів евакуації визначається з розрахунку 0,6м на 100 чоловік. Ширина проходів дорівнює 1 м, ширина коридорів не менше 1,4м. Ширина дверей складає від 0,8 до 2,4 м. Марші і майданчики сходів відповідно рівні 1,75 і 2,4м. Для гасіння пожеж в прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: воду, інертні гази, хімічну, легко-механічну піни, тверду вуглекислоту, пісок (вогнегасники типу ВХП-5, ВВ-10).

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для отримання, зберігання і подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні і штучні водоймища). Витрата води на зовнішнє пожежогасіння через гідрант для прокатного цеху категорії Г при об'ємі будівлі 2000- 4000 м² складає 10 л/с. У виробничих будівлях І і ІІ ступенів вогнестійкості категорії Г внутрішнє протипожежне водопостачання не передбачають.

Виробничий процес в цеху по вибуховій, вибухопожежній і пожежній небезпеці, згідно НАПБ Б.07.005-86 відноситься до категорії «Г», тому що обробці піддаються непальні матеріали в розпеченому стані .

Будівля цеху побудована з непальних матеріалів (металоконструкцій, залізобетону, скла) і згідно ДБН В.1.1-7-2002 має ІІ ступінь вогнестійкості.

Класифікація виробничих дільниць, складів, приміщень, майстерень цеху по вибухопожежній та пожежній небезпеці за НАПБ Б.07.005-86 і класи зон по ПУЕ для приміщень і установок представлена в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 - Класифікація виробничих дільниць

Відділи, дільниці, стани, приміщення, майстерні, підвали.	Категорія	Класифікація приміщень та установок по ПУЕ
1	2	3
Безперервні травильні агрегати БТА-1, 2, 3	Г	
4-х клітьовий стан Тандем	Д	
Реверсивні стани 1680, 1200	Д	
4-х клітьові стани 450,650	Д	
Дресирувальні стани 1700-1,2	Д	
Дресирувальний стан Кварто	Д	
Агрегати поперечної різки АПР-1, 2, 3, 4, 5	Д	
20-ти валковий стан, КАДПР	Д	
Загартовувальні стани НЗА-1, 2	Г	
Розділочний агрегат №1	Д	
Агрегат шліфування нержавіючої штаби	Д	
Маслопідвали 20-ти валкового стану і агрегату шліфування нержавіючої штаби	В	П-1
Маслопідвали прокатних і дресирувальних станів	В	П-1
Електромашинні зали	Г	
Електропідстанції в т.ч. внутрішньоцехові	Г	
Внутрішньоцехові трансформаторні підстанції, трансформаторні пункти, КТП	Г	
Електрокабельні приміщення	Г	
Приміщення станцій щитів управління	Г	
Термічне відділення	Г	

Вибухонебезпечна зона в цеху відсутня.

Пожежі в цеху можуть виникнути в результаті: запалення електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях; запалення мастил при влученні в них іскор електричного або механічного походження, впливу тепла від нагрітих предметів, під дією відкритого вогню; на нагрівальній ділянці можливі запалення і вибух газоповітряних сумішей; самозаймання промасленого ганчір'я; дія статичного або грозового розряду .

Небезпека виникнення пожежі в цеху зменшена в проекті наступними заходами: оснащенням систем керування електроустаткуванням автоматами максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками; обмеженням кількості мастил добовою потребою; головні електродвигуни приводів оснащені системою замкнутої примусової вентиляції з очищенням повітря від щіткового пилу та охолодженням його; трансформаторні кіоски винесені за межі виробничого приміщення; олійні льохи обладнані системою припливно-витяжної вентиляції, що видаляє пари олії і зменшуючи їх концентрацію в повітрі, електроустаткування і освітлення олійних льохів виконане іскро-вибухобезпечним; промаслене ганчір'я після використання збирається в металеві ящики з герметичними кришками, а наприкінці зміни вивозиться із цеху і спалюється в спеціально відведеному місці; статичний заряд направлений в землю по мережі заземлення.

Будівля цеху побудована з непальних матеріалів (металоконструкцій, залізобетону, скла) і згідно СНіП 2.01.02-85 має II ступінь вогнестійкості. Ймовірність поразки споруд блискавкою зменшена застосуванням системи блискозахисту II категорії, виконаної відповідно до СН 205-77.

Для гасіння можливих пожеж в цеху передбачені первинні засоби пожежогасіння, які перелічені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 - Перелік необхідних первинних засобів пожежогасіння

Назва приміщень	Площа приміщення	Пінні вогнегасники ОВП	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском та лопатами
			ВВ-2	ВВ-5	ВП-1	
Виробниче приміщення	78750 м ²	1	-	1	-	1
Машинний зал	6000 м ²	1	2	-	3	1
Пости керування		1	-	1	-	1
Електромостовий кран (на кабіну)		-	1	-	-	1
Вентиляційні установки	3 шт.	-	1	-	-	-

4.5. Розрахунок штучного освітлення

Розрахувати систему загального рівномірного освітлення з лампами газорозрядні для виробничого приміщення, в якому виконуються зорові роботи 3 розряду .

Розміри приміщення: довжина $a = 180\text{м}$, ширина $b = 24\text{м}$, висота $H = 15\text{м}$.

Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $R_{\text{стелі}} = 70\%$, $R_{\text{стін}} = 50\%$.

Висота робочих поверхонь в цеху $h_p = 0.8$. Для освітлення прийнято світильники типу ЛУБ-80 , які підвішуються до стелі; відстань від світильника до стелі $h_c = 0.5\text{м}$. Мінімальна освітленість за нормами $E = 300$ лк. Визначаємо висоту підвісу світильників над підлогою

$$H_0 = H - h_c = 15 - 0,5 = 14.5. \quad (4.1)$$

Визначаємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює.

$$H=h_0-h_p=14.5-0.8=13,7. \quad (4.2)$$

Визначаємо рекомендовану відстань між світильниками

$$L=0.8 \cdot h=0.8 \cdot 13.7=10.96. \quad (4.3)$$

Необхідна кількість світильників становить:

$$N=ab/L^2. \quad (4.4)$$

$$N=180 \cdot 24/13.7^2=23.$$

Прийmemo 24 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у три ряди по 8 штук.

Показник приміщення i становить:

$$i=ab/h(a+b)=180 \cdot 24/13.7(180+24)=1.54. \quad (4.5)$$

Знаходимо коефіцієнт використання $\eta =0.51$ для світильника ЛУБ-80 при $i=1.54$, РСТЕЛІ=70%, РСТІН=50%

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику встановлюється лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{л}=ESK3Z/N\eta \quad (4.6)$$

E - нормована величина освітленості, S - площа виробничого приміщення, K – коефіцієнт запасу, N - кількість світильників, Z - поправочний коефіцієнт, залежить від типу лампи

$$\Phi_{л}=300 \cdot 60 \cdot 1.3 \cdot 1.15/24 \cdot 0.51=2513 \text{ лм.}$$

Вибираємо ЛД-40 потужністю 40 Вт, світловий потік якої становить 2500лм. Хоча це значення на 2% менше розрахункового однак не перевищує встановлену норму 10%.

Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить

$$P_{св} = P_{св} \cdot N = 40 \cdot 24 = 960 \text{Вт.} \quad (4.7)$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вимоги споживачів прокатної продукції до її якості, що постійно підвищуються, вимагають глибокого вивчення впливу структури й властивостей гарячекатаного підкату, умов холодної прокатки, термообробки й дресирування на кінцеву структуру, якість поверхні й точність геометричних розмірів штаб. Істотним резервом підвищення якості прокатки сталі є усунення тонких кромek штаб при холодній прокатці.

При вирішенні технічного завдання у дипломному проекті пропонується для підвищення якості поперечного профілю штаби шляхом застосування нових конструкцій плунжерів гідравлічних пристроїв протизгину валків. Застосування нової конструкції опорного вузла зі сферичними поверхнями контакту плунжера і подушки дозволяють поліпшити вплив на міжвалковий зазор. При прийнятих параметрах пристрою обтисків крайок штаби на ділянках може поменшати в 1,19 рази, що сприяє вирівнюванню товщини (і форми) штаби по її ширині.

У спеціальній частині наведений розрахунок режиму деформації штаби 0,7x1000 мм. Раціональний для конкретного НСХП режим деформації повною мірою визначається кількістю клітей, потужністю приводів, законом розподілу обтисків по клітях і наявністю систем регулювання міжвалкового зазору і контролю площинної штаби.

Розрахунок на міцність робочих і опорних валків показали, що за даних умов навантаження (сила прокатки $P = 17,87$ МН, крутний момент $M = 259$ кН·м) запас міцності шийки опорного валка дорівнює 6,4.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 320 с.
2. Николаев В.А. Холодная прокатка полос. Запорожье : ЗНТУ, 2011. 126 с.
3. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Технологія виробництва сортового та листового прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2000. Ч. II. 220 с.
4. Николаев В.А., Путноки А.Ю. Прокатка широкополосной стали. Киев : Освіта України, 2009. 268 с.
5. Железнов Ю.Д. Прокатка ровных полос и листов. Москва : Металлургия, 1971. 200 с.
6. Васильев Я.Д., Сафьян А.М. Производство полосовой и листовой стали. Киев : Вища школа, 1976. 192 с.
7. Управлінням якістю тонколистового проката / В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, І.Ю. Приходько і др. Киев : Техніка, 1997. 384 с.
8. Шнайдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным рельефом. Ленинград : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1982. 248 с.
9. Скороходов В.Н., Настич В.П., Чернов П.П. и др. Опыт применения опорных валков со спиральными канавками на стане 1400 холодной прокатки. *Производство проката*. 1999. №10. С.50-54.
10. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков. Киев : Техніка, 1992. 158 с.
11. Николаев В.А. Давление и момент при прокатке полос с вибрационным напряжением. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1971. №6. С. 102-105.
12. Николаев В.А., Пилипенко С.С. Коэффициент трения при холодной прокатке. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1989. №7. С. 63-67.

13. Николаев В.А., Пименов А.Ф., Скороходов В.Н. и др. Разработка и внедрение режимов поверхностного пластического деформационного упрочнения прокатных валков. *Производство проката*. 1999. №10. С.16-19.
14. Николаев В.А., Путники А.Ю. Особенности прокатки полос в неприводных рабочих валках. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2008. №1. С.71-74.
15. Грудев А.П. Технология прокатного производства. Москва : Арт-Бизнес-Центр, 1994. 651 с.
16. Рокотян С. Е. Теория прокатки и качество металла. Москва : Металлургия, 1981. 224 с.
17. Будакова А.А., Коновалов Ю.В., Ткалич К.Н. и др. Профилирование валков листовых станов. Киев : Техніка, 1986. 190 с.
18. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. Москва : Металлургия, 1967. 388 с.
19. Байков Е.В. Исследование на непрерывном стане холодной прокатки продольной разнотолщинности полос. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. №1. 2008. С. 102-105.
20. Агеев Л.М. Управляющие воздействия на форму полосы при прокатке. Труды 4 Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16-19 окт., 2001. Т. 1. Москва, 2002. С. 192-197.
21. Николаев В.А., Жученко С.В. Профилирование валков и качество поперечного профиля полосы. *Металургія*. № 9. 2009. С.21-23.
22. Байков Е.В. Исследование технологии холодной прокатки полос на непрерывном стане с рассогласованием скоростей валков. Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА, 2007. С. 424-427.
23. Гарбер Э., Кожевникова И., Трайно А., Кузнецов В., Павлов С. Новые методы моделирования процессов холодной прокатки,

обеспечивающие улучшение качества холоднокатаных листов, экономию энергии и увеличение скорости непрерывных станов. *Вестник Череповецкого государственного университета*. №3, 2009. С. 108-111.

24. Garber E.A., Nikitin D.I., Shadrunkova I.A., Traino A.I. Calculation of the Cold-Rolling Power with Allowance for the Variable Work of Friction along a Deformation Zone. *Russian Metallurgy*. Vol. 2003. No. 4. P. 340-346.

25. Назарова Е.С. Исследование системы оптимального управления натяжением полосы стана холодной прокатки. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Випуск 3, 2012. С. 161-162.

26. Комановский А. З. Листопрокатное производство : справочник. Москва : Metallurgy, 1979. 280 с.

27. Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л. и др. Расчет параметров листовой прокатки : справочник. Москва : Metallurgy, 1986. 430 с.

28. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

29. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : учебник для студ. высш. учеб. зав. Москва : Metallurgy, 1985. 376 с.

30. Гуляев А.П. Металловедение. 5-е издание. Москва : Metallurgy, 1977. 664 с.

31. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Москва : Metallurgy, 1979. 368 с.

32. Иващенко О.В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.

33. Чепчунов Ю.П. Себестоимость проката и пути ее снижения. Москва : Metallurgy, 1985. 57 с.

34. Панасейко С.П., Тарасов В.К., Павленко Ю.П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье : ЗГИА, 2002. 56 с.