

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра Обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

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

на тему Розробка режиму прокатки штаби розмірами 1,8x1100 мм із сталі 08кп на напівнерервному стані гарячої прокатки 1680

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1360-омт-д

Бабіч Максим Ігорович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2022 року

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

Кафедра Обробки металів тиском

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 Металургія
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ
Ю.О. Бєлоконь

“ ___ ” _____ 2022 року

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

Бабіч Максим Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка режиму прокатки штаби розмірами 1,8x1100 мм із сталі 08кп на напівнервному стані гарячої прокатки 1680

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

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

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.06.2022

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Визначення параметрів оптимізації прокатування інструментальної сталі на безперервних станах гарячої прокатки

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 10 слайдах (на 10 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
<i>Загальна частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Механічна частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 17.02.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.04.2022 - 12.05.2022	
2	<i>Реферат</i>	12.05.2022 - 16.05.2022	
3	<i>Загальна частина</i>	29.04.2022 - 11.06.2022	
4	<i>Технологічна частина</i>	12.05.2022 - 07.06.2022	
4	<i>Механічна частина</i>	17.05.2022 - 30.05.2022	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	24.05.2022 - 15.06.2022	
6	<i>Висновки</i>	30.05.2022 - 17.06.2022	

Студент _____ М.І. Бабіч
 (підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: 102 сторінки, 13 рисунків, 15 таблиць, 21 джерело.

В загальній частині описані: діючий цех, технологічний процес прокатки штаби, сортамент і технічні вимоги до готової продукції, недоліки існуючої технології і заходи щодо їхнього усунення, технологія, функції і режими роботи Койлбокса.

Метою роботи є розробка прокатки штаби на безперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680. Розраховано продуктивність безперервного широкоштабового стану 1680.

В механічній частині описано конструкцію головної лінії та наведені розрахунки: валків, натискного гвинта та гайки.

В частині «Охорона праці та техногенна безпека» описані основні заходи щодо безпечних умов праці на стані.

**ПРОКАТКА, СТАН, КЛІТЬ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ,
РОЛЬГАНГ, ОБТИСК, ШСГП, ШТАБА, ВАЛКИ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Загальна характеристика існуючого технологічного процесу	7
1.2 Опис конструкції та роботи основного обладнання стана	17
1.3 Нова технологія виробництва гарячекатаної штаби	39
1.4 Аналіз «вузьких місць» та заходи по реконструкції	46
1.5 Опис технологічного процесу після реконструкції	46
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	49
2.1 Розрахунок кінематичних параметрів стана 1680 для одержання штаби з розмірами 1,8×1100	49
2.3 Розрахунок техніко-економічних показників виробництва	73
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	76
3.1 Головна лінія	76
3.2 Розрахунок на міцність шпинделів	77
3.3 Розрахунок на міцність опорних і робочих валків	79
3.4 Висновки до розділу	85
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	86
4.1 Характеристика потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників на ділянці цеху гарячої прокатки тонкого листа	86
4.2 Заходи з поліпшення умов праці на ділянці ШСГП 1680	89
ВИСНОВКИ	100
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	101

ВСТУП

Сталь є основним конструкційним матеріалом. Однак з розвитком хімічної промисловості й матеріалознавства сталеві штаби змушені витримувати усе більше конкуренцію з боку нових видів продукції. Нові види продукції значною мірою задовольняють сучасним вимогам основних традиційних споживачів виробів чорної металургії - виробників транспортних засобів і машинобудівників. Для збереження свого положення на ринку конструкційних матеріалів необхідно вдосконалювання технологій, застосовуваних у виробництві штабового прокату; особливо - гарячекатаного, тому що без підвищення якості підкату не варто очікувати поліпшення характеристик холоднокатаної штаби й іншої продукції наступних переділів. В останні п'ятнадцять років намітилися нові напрямки розвитку технології гарячої прокатки.

Результатом стало як подальше вдосконалювання широкоштабових прокатних станів, так і впровадження поєднаних процесів лиття - прокатки й поява розробок в галузі безперервного лиття штаби. Розвиток автоматичних систем керування й контролю дозволило не тільки почати втілення в життя ідей, що вважалися раніше нездійсненними - як безперервне розливання тонкої сталевий штаби у двох роликівих кристалізаторах. Металургійні підприємства одержали можливість формувати свій парк обладнання відповідно до реальних потреб ринків, на які вони працюють, і тим самим скоротити споживання енергії й інших ресурсів і капітальні витрати.

Широкоштабові стани гарячої прокатки мають ряд переваг: це висока продуктивність (до 5 млн. тон на рік і вище), висока технологічна гнучкість і здатність забезпечувати значні обтиснення.

На світовому ринку гарячекатаного металу в основному представлена штаба шириною від 600 до 2000 мм, товщиною від 1,25 до 25 мм. До 96% європейського ринку належить вуглецевим і легко деформуючим маркам сталей.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика існуючого технологічного процесу

В Україні встановлені й працюють два безперервних широкоштабових стана (стан 1680 у м. Запоріжжя і стан 1700 у м. Маріуполі), на яких удосконалюється технологія виробництва штаб, забезпечується одержання штабової сталі з високою якістю поперечного профілю і механічних властивостей металу.

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

На стані встановлені п'ять методичних чотирьохзонних печей із глісажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів, калорійністю 1070-1350 ккал/м³. Однак у зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використовуються періодично 1-2 печі для прокатки зворотних або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл 1 і по рольгангу 2 до печі. Посадка слябів у печі 3,4 виконується штовхачами 5. Одночасно з печей видаються нагріті сляби на нижній грубний рольганг 6. На поверхні сляба завжди є товстий (4-6 мм) шар грубої окалини, виламування якої виробляється у двохвалковим окалиноломачі. Розпушена окалина віддаляється з поверхні сляба гідросбивом, що подає на сляб воду з тиском 9-12 МПа.

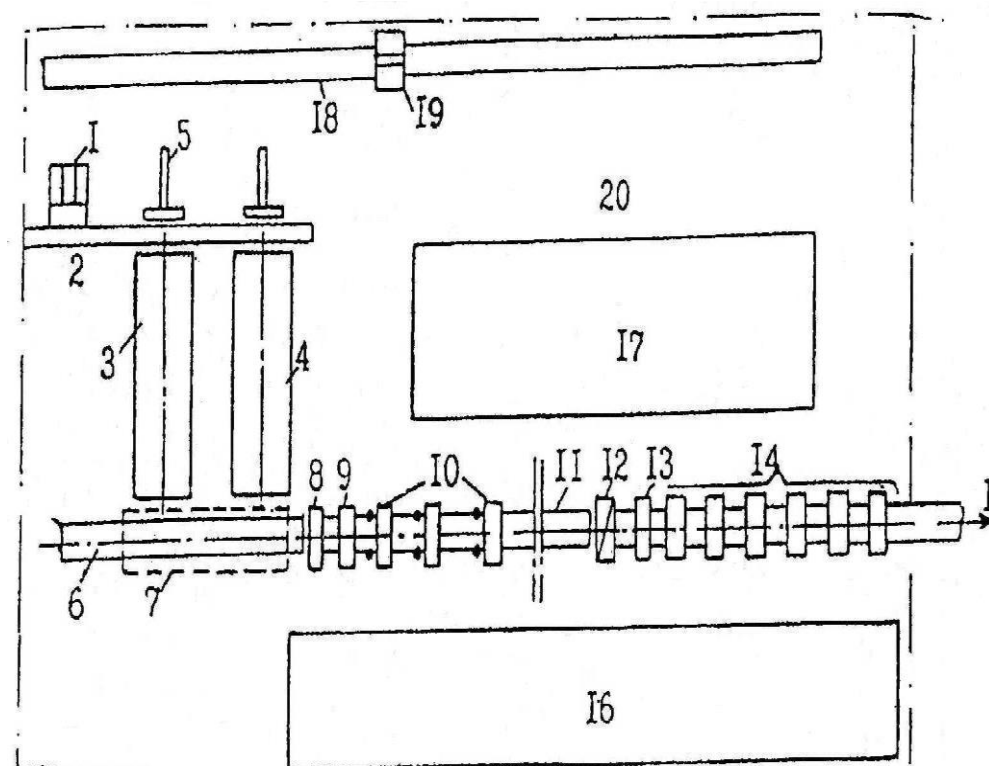


Рисунок 1.1 Схема розташування встаткування ШСГП 1680:

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

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

дорівнює: кліть 1 – 5-5400 кВт; 2-4 – по 4000 кВт, а окружна швидкість робочих валків клітей $4-V_4 = 2,2 - 2,5 \text{ м/с}$. У чорновій групі застосовується безперервна прокатка слябів довжиною 9-9,5 по такому режимі: окалиноломач – кліть 1, кліті 2-3 і кліті 3-4. Розкат виходить повністю із кліті 1 і тільки потім прокатується в групі клітей 2-3. У кліті 4 розкат прокочують після виходу із кліті 2. При вході в кліть 1 температура розкату дорівнює $1150-1180^\circ \text{ C}$, а в міру прокатки температура розкату зменшується й за кліттю 4 становить $1080-1100^\circ \text{ C}$.

Вихідний метал

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

При поставці прокату за ДСТ 16523-97 на поверхні гарячекатаного прокату не повинне бути полон, порізів, міхурів, заходів, вкатої окалини, перетравів, недотравів, розшарувань.

При поставці прокату за ДСТ 14637-89 на поверхні гарячекатаного прокату не повинне бути рванин, наскрізних розривів, розкатаних пригару і скоринок, а також міхурів-здуттів, гармошки, тріщин, полон, забруднень і вкатої окалини.

Вихідним металом для виробництва гарячекатаних штаб і листів з нержавіючої сталі служать передільні сляби, по розмірах, формі і якості поверхні, що задовольняють вимогам внутрішньозаводських технічних умов. Розміри слябів, призначених для переділу в тонколистовому цеху залежать від марки сталі і варіанта замовлення.

Фактичне граничне відхилення по ширині штаби не повинне перевищувати +20 мм при ширині штаб до 1000 мм (включно).

Для гарячекатаних штаб, призначених для подальшого переділу на холоднокатаний лист, що допускає відхилення не повинне перевищувати +20 мм.

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

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

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

Прокатка слябів

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

Після проходження чорнового окалиноломача (кліть ДУО) розкат проходить через інші клітці чорнової групи.

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

Таблиця 1.1 – Допустиме обтиснення по клітках чорнової групи.

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

За 8 - 24 години до початку прокатки слябів нержавіючих сталей виробляється перевалка робочих валків клітей № 1-3. Безпосередньо перед початком прокатки виробляється перевалка робочих валків № 4-10. Якість поверхні валків повинне відповідати внутрішньозаводським вимогам.

Настроювання клітей чорнової групи виробляється залежно від вихідної товщини слябів і необхідної товщини підкату. При цьому обтиснення по окремих клітях повинні бути не більше : ДУО - 18 мм, №1 - 40 мм, №2 - 30 мм, №3 - 14 мм, №4 - 8 мм для настроєчного підкату.

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

Таблиця 1.2 – Розчин між вертикальними валками залежно від ширини штаби

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

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

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

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

Товщина підкату перед чистовою групою і температура металу за 10-й кліттю повинні лежати у відповідним їм межах. Щоб уникнути застрявання в лінії стана не допускаються в прокатку на чистовій групі розкати з

розшаруваннями в торці, тріщинами та іншими грубими дефектами, які можуть викликати аварійну зупинку стана.

Таблиця 1.3– Допустиме обтиснення у клітях чистової групи.

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

Обтиснення в останній кліті чистової групи повинне бути в межах 5 - 15 % і встановлюється в кожному конкретному випадку з таким розрахунком, щоб передній кінець штаби, що виходить із кліті №10, був підігнутий до верху на 50-100 мм.

З метою зниження енергосилових параметрів прокатки, зменшення застрягання штаб на гарячому рольгангу і у моталках прокатку нержавіючих сталей доцільно робити при швидкості 10-й кліті 410-440 м/хв.

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

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

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

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

Таблиця 1.5 – Припустимі навантаження на двигуни клітей стана.

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

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

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

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

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

Тривалість роботи двигунів клітей чистової групи при найбільшому припустимому навантаженні обмежується з умови запобігання їхнього

перегріву. При подачі звукового сигналу про неприпустиме нагрівання двигунів темп прокатки повинен бути знижений.

Змотка штаб у рулони

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

Швидкість обертання роликів свертних машин і швидкість рольганга повинна бути вище окружної швидкості валків 10-й кліті на 10-20 м/хв. Перед змоткою штаб у рулони тиск стисненого повітря в повітрозбірниках свертних машин підвищується до 4,0-5,0 атм.

Для забезпечення рівної змотки рулонів, без телескопічності, прокатані штаби не повинні мати серповидності. Для забезпечення щільної змотки обов'язкова витримка рулонів у свертних машинах до розведення формуючих роликів менш 1,5 хв.

Поріз горячекатаних штаб

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

Поріз штаб, залежно від марки стали, товщини і температури, виробляється на летучі або гильотинних ножицях.

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

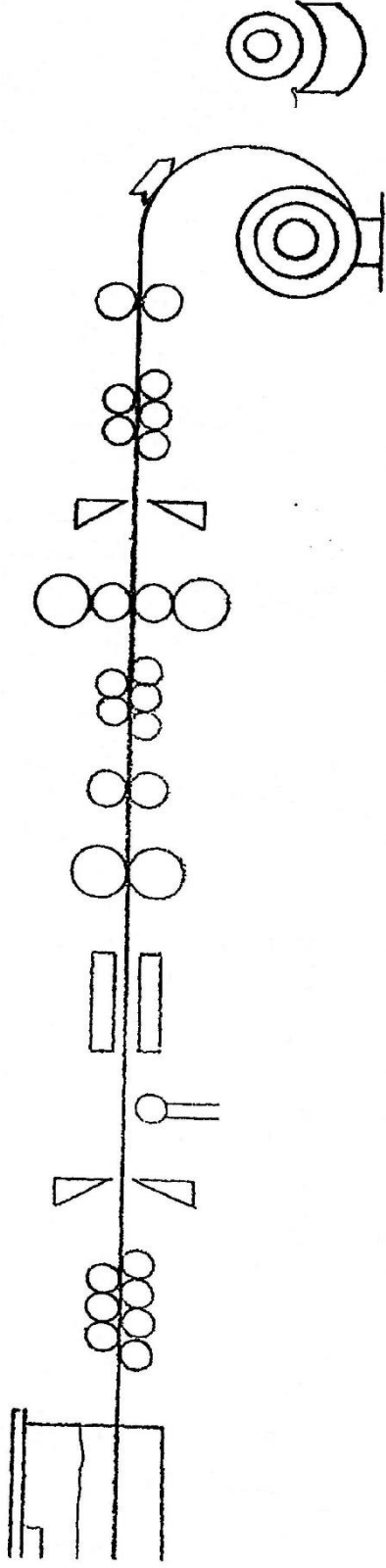


Рисунок 1.2 Агрегат дресування і поперечного різання

- 1 - похилий прийомний рольганг із холостими роликками; 2 - піднімальний стіл розмативала; 3 - магнітний отгибатель; 4 - тягнучі ролики; 5-8 - пятироликові правильні машини; 6 - ножиці; 7 - дрессировочная кліть; 8 - тягнучі ролики; 10 - дискові ножиці; 11 - кромкокрошитель; 12 - петлеобразующий ролик; 13 - летучі ножиці; 14 - складальна кишеня

Обробка гарячекатаних листів

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

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

відбувається остаточне сортування;

- упакування.

Агрегат гартування гарячекатаних листів включає:

- головну частину, призначену для завдання в термічну піч листів, вирізаних з рулонів безпосередньо в лінії гартівного агрегату ;

- нагрівальну піч;
- камеру охолодження;
- 17-роликову правильну машину для виправлення листа після гартування;
- пакетуючий пристрій.

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

Після охолодження загартовані листи надходять у роликову правильну машину, що робить виправлення листів. Виправлений лист із правильної машини подається в пакетуючий пристрій. На стані встановлено п'ять методичних чотирьохзонних печей із двостороннім нагріванням, дворядні з торцевою посадкою і видачею. Опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів, калорійністю від 1070 до 1350 ккал/м³.

Ширина печі 5220 мм, довжина 31,5 м. У кожній печі є чотири глисажні труби, які служать опорою для слябів, що нагрівають, при просуванні їх через піч. Повітря, необхідний для горіння, підігрівають до 500-550° С у керамічному

рекуператорі. Продукти горіння від всіх печей приділяється по кабанах у два димарі висотою по 85 м.

Величина тяги регулюється поворотним шиббером, установленому в кабані за кожною піччю. Завантаження і пересування слябів через печі здійснюється двома штовхачами рейкового типу. Кожна теплова зона печі обладнана системою контролю і регулювання температури. У кожній зоні по ширині печі встановлені дві платино-радийплатинові термомпари, ЕДС яким подається на потенціометр через перемикач. Посадка слябів у печі виробляється з відділенням слябів різних марок і розмірів. Сляби сідають у піч як у гарячому, так і в холодному стані. За винятком окремих марок низьколегованих і всіх високолегованих сталей, які сідають у піч тільки в холодному стані. Нагрівання слябів у методичних печах виробляється по встановлених режимах. У методичній зоні нагрівання здійснюється за рахунок тепла відпрацьованих газів. У міру просування слябів через піч їхня температура постійно зростає. Швидкість пересування слябів у печах і температура задаються. На кінцевому етапі нагрівання сляби проходять через томильну зону, де відбувається вирівнювання температури по перетині металу. При нагріванні металу необхідно забезпечити повне згоряння газу і виключити оплавлення поверхні слябів. Нагріті сляби подаються на нижній грубний рольганг і відтіля в стан. Нижній грубний рольганг складається з 94-х роликів, діаметром 400 мм і довжиною бочки 1700 мм. Рольганг обслуговується шістьма електродвигунами типу ДП-72 з потужністю 67 кВт кожний і швидкістю обертання.

1.2 Опис конструкції та роботи основного обладнання стана

Безперервний тонколистий стан складається із двох груп – чорновий і чистовий.

До складу чорнової групи входять: одна двохвалкова кліть, чотири чотирьохвалкових (№ 1, 2, 3, 4) і три вертикальних (№ 1,2,3) кліті.

До складу чистової групи входять: одна двохвалкова кліть і шість чотирьохвалкових клітей (№ 5, 6, 7, 8, 9, 10).

Основним робочим органом прокатного стана є валки, що обертаються в підшипниках, установлених у робочих клітях.

Привод валків здійснюється електродвигуном через проміжні передавальні механізми і пристрої.

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

Устаткування, що входить у робочу лінію, можна розділити на три основні групи: робочу кліть, передавальні механізми, головний електродвигун. Робоча кліть являє собою дві масивні сталеві литі станини, установлені на плити, прикріплені до фундаменту анкерними болтами. У станинах змонтовані подушки з підшипниками і валками, а також пристрою для переміщення верхнього валка по висоті і його осьовій фіксації, що направляють проводки для металу й т.д.

Система противигину робочих валків клітей № 8-10

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

Тип насоса.....	32/320УХЛ4
Діапазон зміни вихідного тиску робочої рідини, кг/см ²	від 0 до 100
Швидкість зміни тиску, кгс/см ²	300
Режим роботи.....	безперервний
Робоча рідина.....	масло індустріальне 12 (20)
Діаметр гідродомкратів, мм	120
Кількість гідродомкратів в одній подушці, шт	4

Робочий хід плунжера, мм..... 30

Коротка характеристика основного устаткування стана наведена в таблиці № 1.6, 1.7 і 1.8.

Таблиця 1.6 – Характеристика вертикальних клітей.

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

Робочі кліті

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

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

Чистова група складається з: однієї двохвалкової кліті - чистового окалиноломача і семи чотирьохвалкових клітей (№5-11).

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

Таблиця 1.7 – Характеристика робочих клітей

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

Таблиця 1.8 – Характеристика валків стану

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

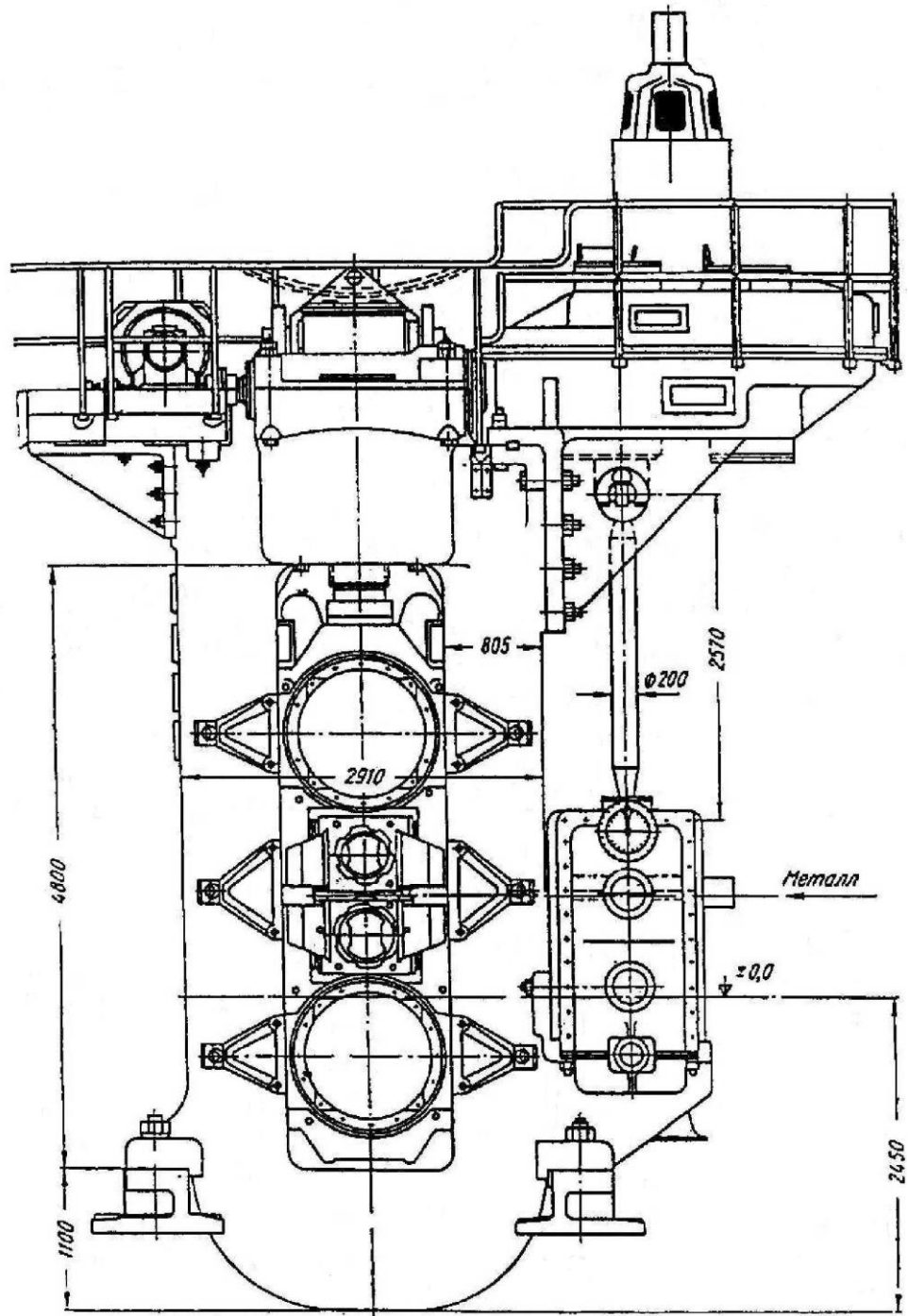


Рисунок 1.4. Чистова чотирьохвалкова кліть

Валки стану гарячої прокатки 1680

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

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

Коротка технічна характеристика допоміжного устаткування

ШСГП 1680

До складу допоміжного устаткування входять :

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

Летучі ножиці 25x1700 мм для обрізки переднього кінця гарячекатаної штаби (розкату) перед чистовою групою.

Характеристика ножиців :

Тип ножиців.....	Важільні
Перетин розрізу штаби, мм	(18-25)x(600 -1550)
Температура розрізу штаби, що, град, не менш	900
Питомий опір матеріалу, що ріже, кг/мм ²	8
Перекриття ножів, мм.....	2,70
Окружна швидкість ножів, м/с.....	від 0,46 до 1,38
Ухил верхнього ножа	1:62
Число обертів барабана, об/хв	від 17,2 до 51,6
Потужність двигуна, квт.....	300
Число обертів двигуна, об/хв	750
Кількість пружин-притисків, шт.....	5
Робоче навантаження на пружину, кг	3730

Летучі ножиці 28x1550 мм для обрізки переднього і заднього кінців гарячекатаної штаби (розкату) перед чистовою групою. Характеристика ножиців :

Тип ножиців.....	летучі
Перетин розрізу штаби, мм	(18-28)x(800-И 550)
Температура розрізу штаби, град, не менш	900
Питомий опір матеріалу, що ріже, кг/мм ²	11,5
Довжина ножів, мм	1700
Перекриття ножів максимальне, мм	78,9
Перекриття ножів мінімальне, мм.....	9,8
Максимальний зазор між ріжучими крайками ножів,мм.....	0,75
Зусилля різання максимальне, тс.....	170
Максимальний момент різання, тсхм	60
Величина кінців розкату, що відрізають,.....	мм від 100 до 300
Кут початку різання, град/хв.....	25x7

Кут кінця різання, градхмин	7x30
Кут різання, градхмин.....	17x37
Число обертів барабана, об/хв.....	від 12,21 до 27,4
Потужність двигуна, квт.....	1000
Число обертів двигуна, об/хв	160
Максимальна швидкість руху розкату при порізі, м/с.....	2,20
Характеристика роликів, що подають, ножиців	28x1550 мм :
Призначені для подачі гарячекатаної штаби в летучі ножиці.	
Діаметр бочки роликів, мм	350
Довжина бочки роликів, мм	1700
Зусилля притиснення верхнього ролика, кгс	9600
Швидкість руху штаби, м/с	від 0,67 до 2,20
Потужність двигуна, кВт.....	35
Число обертів двигуна, об/хв	270

Летучі ножиці лівого і правого рольгангів

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

- 1) диференціального редуктора - для регулювання швидкості обертання супортів (довжини листа, що відрізає,);
- 2) колінчасто-важільного механізму - для установки ножів на одинарний або подвійний різ;
- 3) привода кривошипа - для зміни кутової швидкості в момент порізу штаби, руху супорта ножиців;
- 4) механізму запору повзуна кривошипа - для фіксації повзуна в певнім положенні;
- 5) головного привода й мотора до нього;

- б) роликів, що подають, - для подачі штаби до летучих ножиців з рівномірною швидкістю;
- 7) рольганга перед летучими ножицями - для транспортування до них штаби;
- 8) рольганга перед правильною машиною - для транспортування до неї відрізаних листів;
- 9) правильної машини – для виправлення відрізаних листів;
- 10) пульта керування з апаратурами.

Основні технічні характеристики летучих ножиців:

Тиск, що допускає, на ножі,	кг 106594
Уклон ножів	1:263
Зазор між ножами, мм	0,125
Максимальне перекриття ножів, мм	6
Швидкість подачі (порізки) штаби, м/хв	від 55,5 до 111,0
Число різів у хвилину (при середній швидкості подачі 92 м/хв і довжині аркуша 1525 мм)	60
Діаметр роликів, що подають,	мм 221,05
Ексцентриситет ротора, мм	245
Максимальний хід рами подвійних різів, мм	255
Максимальне переміщення повзуна кривошипа, мм	150
Головний привод:	
Тип.....	СД-1898
Привод перемикання режиму лівих ножиців:	
Тип.....	КПД 55/1003
Привод перемикання режиму правих ножиців:	
Тип.....	МП-402
Привод повзуна лівих ножиців.	
Тип.....	КПД 50/1003
Привод повзуна правих ножиців:	
Тип.....	СО-1825

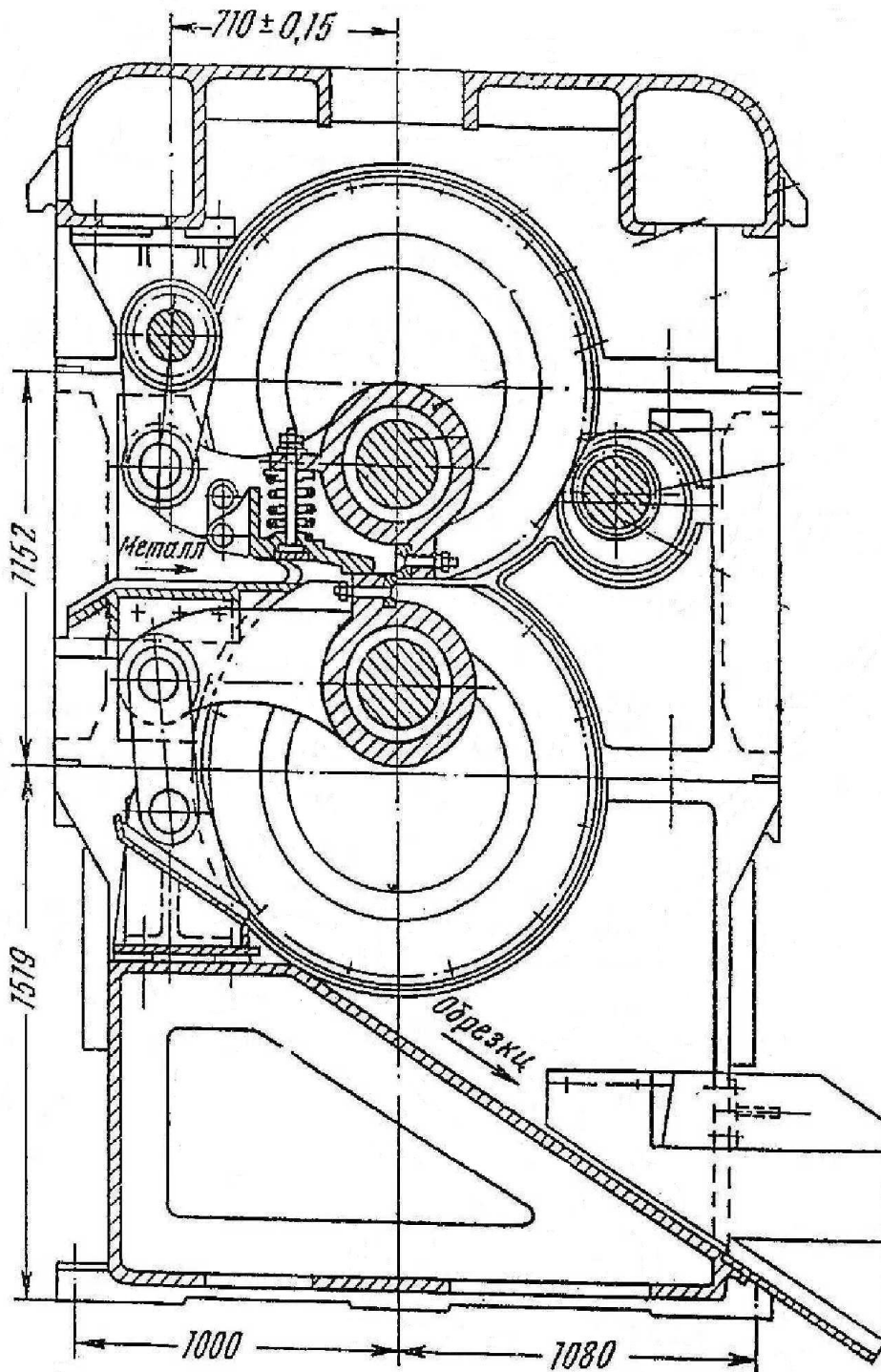


Рисунок 1.5. Ричажнокривошипні летучі ножиці 281700 для різання
гарячої штаби

Привод замикаючого пристрою лівих ножиців:

Тип.....КПД 30/1003

Привод замикаючого пристрою правих ножиців:

Тип.....МД-402

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

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

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

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

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

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

Складальна кишень

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

Кількість складальних кишень, шт..... 2

Ємність складальної кишені, т 45

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

Швидкість пересування напрямних, м/хв 0,395

Розкриття лінійок, мм від 560 до 1580

Ножиці з нижнім різом 10 x1700 мм.

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

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

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

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

Головний привод ножиців:

Тип..... МТБ 731-10

Потужність, квт 160

Число обертів, об/хв..... 587

Зусилля різання, т 160

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

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

Межа міцності аркуша, що розріже, кг/мм² не більше65

Довжина крайки ріжучих ножів, мм 1700

Хід нижнього ножа, мм 160

Число різів у хвилину 12

Машини що згортають, №1, 2, 3.

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

Привод роликів - індивідуальний, від моторів СВ-405 (176/440, 4/10 л.с., 210/528 об/хв). Прийомна частина моталок складається із двох роликів, що подають, діаметром 355 мм і довжиною 1830 мм. Сталкувач рулонів -

пневматичний. Діаметр циліндра зіштовхувач - 305 мм, тиск повітря в пневмосистемі - 4 атм.

Тип.....	Роликові
Кількість роликів, шт	6
Довжина роликів, мм.....	2280
Матеріал роликів.....	Спецсталь
Максимальна ширина штаби, мм	1524
Діаметр рулонів, мм	від 752 до 1194

Душирующа установка.

Душирующа установка призначена для прискореного охолодження штаб до передбачених температур. Тип охолодження ламінарне. При цьому вода з ванн верхніх секцій подається на штабу по типі «водяної завіси», а з ванн нижніх секцій - подається по типі «водяного стовпа». Подача води на ванни здійснюється триходовими відсічними клапанами, які управляються повітрям від пневмосистеми. Регулювання витрати води на ваннах верхньої системи грубого охолодження виробляється спарено (на секцію), а на ванни верхньої системи тонкого охолодження й нижні ванни -індивідуально.

Кількість секцій верхнього охолодження, шт.....	11
Кількість секцій грубого охолодження, шт.....	9
Кількість секцій тонкого охолодження, шт	2
Максимальна витрата води на душирующу установку, м ³ /г.	3000
Витрата води через нижню секцію, м ³ /г.....	200
Робочий тиск води у верхніх ваннах, МПа	0,2
Робочий тиск води в нижніх ваннах, МПа	0,3
Товщина охолоджуваних штаб, мм.....	від 1000 до 1500
Максимальна швидкість прокатки, м/с	12
Температура охолодної води, град.....	від 5 до 50
Максимальна температура змотки штаб, град.....	500

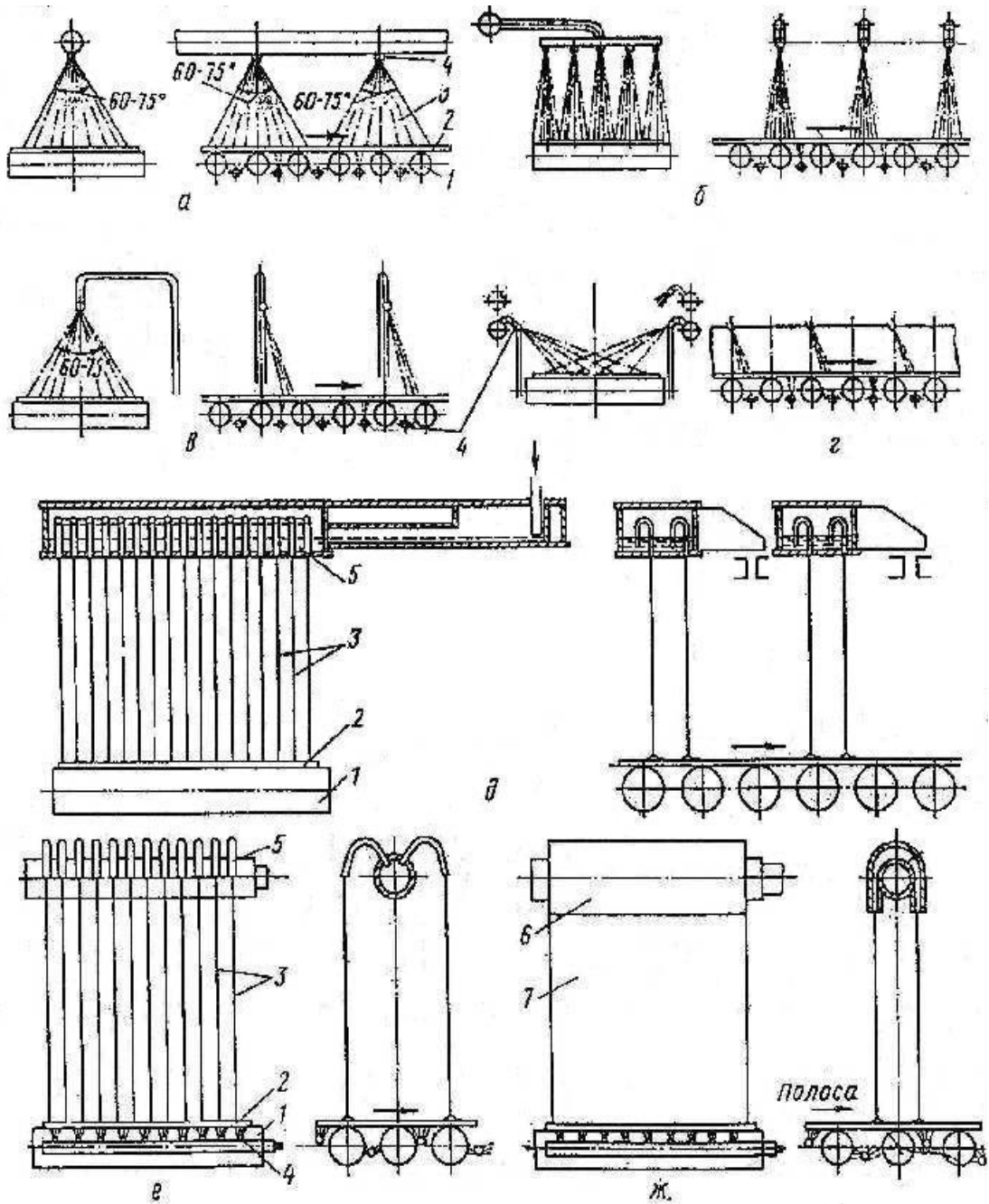


Рисунок 1.6. Схеми способів прискороного охолодження штаб на станах гарячої прокатки: а-в - верхній і нижній зі струєвою подачею води; г - бічний і нижній зі струєвою подачею води; д - верхній з ламінарної (інерційної) і нижній зі струєвою подачею води; е-ж - те ж верхній з ламінарної (безінерційної) подачею води; 1 - рольганг; 2 - охолоджувана штаба; 3 - окремі струмені води; 4 - сопла; 5 - сифонні трубки; 6 - сифонна камера; 7 - суцільний струмінь води (по ширині штаби)

Моталки № 1,2, 3.

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

Коротка характеристика:

Тип.....	Ролико-барабані
Товщина штаб легованих марок, що змотують, сталей, мм.....	від 2,0 до 4,0
Ширина штаб, що змотують,	мм ...від 720 до 1550
Максимальна вага рулону, кг	15000
Зовнішній максимальний діаметр рулону, мм.....	1600
Зовнішній мінімальний діаметр рулону, мм	900
Температура смотки штаб товщиною від 1,7 до 7,0 мм,град.....	800
Швидкість смотки штаб, м/с.....	від 6 до 15
Заправна швидкість, м/с.....	до 10
Діаметр барабана, мм.....	750
Довжина барабана, мм.....	2150
Тип привода барабана	П2-800-175-8
Діаметр формуючих роликів,мм	320
Довжина бочки формуючих роликів, мм	1700
Тип привода формуючих роликів	Д806
Кількість формуючих роликів, шт.....	4
Діаметр тягнучого верхнього ролика, мм	900
Діаметр тягнучого нижнього ролика, мм	400
Довжина бочки тягнучих роликів, мм	1700
Тип привода верхнього тягнучого ролика.....	П2-500-141-5
Тип привода нижнього тягнучого ролика.....	П2-400-124-5

Кантувач рулонів моталок №1,2, 3.

Кантувач рулонів гарячої штаби в моталок №1, 2, 3 служить для кантування рулонів, що зіштовхують із барабана в горизонтальному положенні.

Коротка характеристика:

Кількість, шт	3
Максимальна вага рулону, кг	15000
Висота рулону, мм	1530
Діаметр рулону, мм	1650
Час кантування з рулоном, с.....	7
Час кантування без рулону, с	3
Час повернення у вихідне положення, с	10

Привод кантувача:

Тип.....	гідравлічний
Кількість циліндрів, шт.....	2
Діаметр циліндра, мм	320
Діаметр штока циліндра, мм	160
Хід поршня, мм	710
Тиск у системі МПа (кгс/см ²).....	10 (100)

Прийомний візок моталок №1, 2, 3.

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

Максимальна вага рулону, кг	15000
Час підйому, с.....	3
Час опускання, с	3

Привод приймача:

Тип.....	гідравлічний
Кількість циліндрів, шт.....	2
Діаметр циліндра, мм	200
Діаметр штока циліндра, мм	100

Хід поршня, мм	400
Хід платформи, мм	800
Тиск у системі, МПа (кгс/см ²)	10 (100)

Конвеєр №2 (від моталок №1,2, 3).

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

Кількість ланцюгів, шт.....	2
Режим роботи	кроковий
Довжина кроку, мм	3100
Кут нахилу конвеєра	1 ° 5' 40"
Відстань між зірочками, мм	21453
Кількість рулонів, шт	7
Швидкість переміщення, м/с	від 0,2 до 0,4
Тип привода конвеєра.....	ДС 812

Крокуюча балка

Є складовою частиною транспортуючого конвеєра.

Коротка характеристика:

Довжина балки, мм	8416
Ширина нерухомих балок, мм	2x1018
Ширина рухливої балки, мм.....	500
Кількість рулонів на балці, шт	4
Максимальна вага рулону, кг	15000
Висота підйому балки, мм	250
Швидкість переміщення, м/с	0,4
Час циклу, с	25

Привод балки:

Тип.....	гідравлічний
Кількість циліндрів, шт.....	2
Діаметр циліндра переміщення, мм	140
Діаметр циліндра підйому, мм.....	255

Діаметр штока переміщення, мм.....	60
Діаметр штока підйому, мм.....	130
Хід штока переміщення, мм.....	1704
Хід штока підйому, мм.....	775
Тиск у системі МПа (кгс/см ²).....	10(100)

Приймач рулонів конвеєра №1.

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

Максимальна вага рулону, кг.....	15000
Максимальний зовнішній діаметр, мм.....	1650
Максимальна висота, мм.....	1530
Час підйому, с.....	3
Час опускання, с.....	3
Привод приймача:	
Тип.....	гідравлічний
Кількість циліндрів, шт.....	2
Діаметр циліндра, мм.....	140
Діаметр штока, мм.....	80
Хід штока, мм.....	530
Хід платформи, мм.....	530
Тиск у системі МПа (кгс/см ²).....	10 (100)

Моталки № 4, 5, 6.

Моталки використовуються для змотування прокатного металу в рулони і здійснюється формуючими роликками, щільно притиснутими до штаби на барабані моталки, але без натягу штаби барабаном моталки.

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

Тип.....	роliko-барабанні
----------	------------------

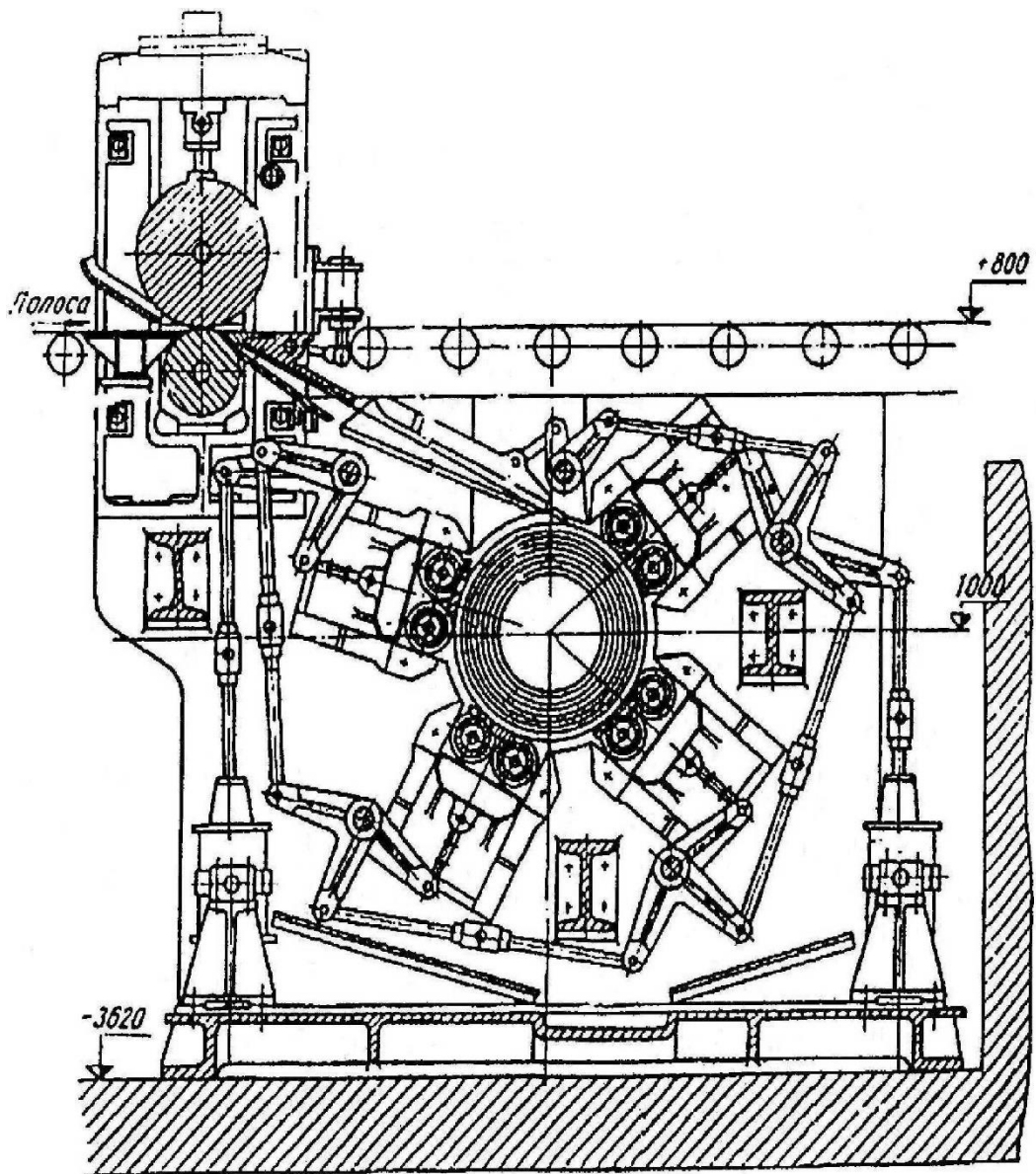


Рисунок 1.7 Моталка для змотування гарячої штаби

Товщина штаби, що змотується, мм	від 1,8 до 6,0
Ширина штаби, що змотується, мм.....	від 600 до 1500
Максимальна вага ролону, кг	7500
Максимальний зовнішній діаметр, мм.....	1200
Мінімальний зовнішній діаметр, мм.....	900
Тип привода тягнучих роликів.....	МП-72
Тип привода барабана.....	МП-82
Тип привода формуючих роликів	МП-42

Кантувач рулонів моталок № 4, 5, 6

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

Коротка характеристика:

Максимальна вага рулону, кг 7500

Висота рулону, мм від 720 до 1500

Діаметр рулону, мм від 1000 до 1300

Ритм збирання рулонів, мм 25

Кут кантувача, град 88

Час кантування, с 2,85

Тип привода переміщення МП-72

Тип привода кантувача МП-46

Конвеєр від моталок до підйомно-поворотного стола №1.

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

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

Число ланцюгів, шт 2

Крок ланцюгів, мм 630

Тип привода конвеєра МП-72

Підйомно-поворотний стіл № 1.

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

Час повороту стола на 90 град, с 7,5

Вантажопідйомність, т 25

Час підйому стола, с 4,0

Час опускання стола, с 4,0

Хід стола, мм..... 550

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

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

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

Число ланцюгів, шт..... 2

Крок ланцюгів, мм..... 630

Тип привода конвеєра МП-72

Поворотний рольганг

Діаметр роликів середній, мм..... 250

Діаметр бочки роликів, мм 1650

Відстань між лінійками, мм..... 1800

Тип привода роликів АОФ-42-6

Ваговий рольганг

Призначений для подачі гарячекатаних рулонів на електротензометричну систему зважування рулонів.

Ухил рольганга..... 3°30"

Кількість роликів, шт..... 45

Діаметр роликів, мм..... 150

Крок роликів, мм від 200 до 300

Електротензометрична система зважування рулонів

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

Межі зважування, т 0,5-20

Погрішність, що допускає, кг +75

Цикл зважування, с 20

Приёмний рольганг конвеєра

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

Довжина рольганга, мм	109200
Довжина бочки роликів, мм	1650
Діаметр бочки роликів, мм	250
Кількість роликів, шт	365
Тип привода роликів	АОФ-42-6

Підйомно-поворотний стіл № 2

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

Час повороту стола на 90 град, с.....	7
Вантажопідйомність, т	15
Час підйому стола, с.....	5
Час опускання стола, с	5
Хід стола, мм	570

1.3 Нова технологія виробництва гарячекатаної штаби

Перший напівбезперервний широкоштабовий стан гарячої прокатки (ШСГП), введений в експлуатацію в 1926р., В США, мав в чорновій групі одну нереверсивну і одну реверсивну кліті, а в чистовій групі чотири кліті кварто. Подальший розвиток станів до 1979р. йшло по шляху збільшення кількості клітей кварто в чорновій і чистовій групах клітей і застосування універсальних клітей (загальна кількість робочих клітей 11-13). Після 1979р. з метою зниження фінансових витрат на будівництво безперервних ШСГП кількість клітей в чорновій групі скоротили до 3х - 4х (при одній реверсивній

кліті). При цьому постійно вдосконалювали технологічний процес і основне обладнання шляхом:

- Застосування безперервної прокатки в 2х - 3х клітках чорнової групи;
- Збільшення діаметрів робочих і опорних валків;
- Збільшення потужностей головних приводів;
- Збільшення товщини слябів до 250 ... 300мм;
- Зменшення товщини готових штаб до 1,0 ... 1,2 мм;
- Застосування гідравлічних натискних пристроїв в клітках чистової групи;
- встановлення проміжного перемотувального пристрою (Coilbox - ППУ);
- Прискорення обертання валків чистової групи клітей зі збільшенням швидкості прокатки з $v = 10 \dots 12$ м / с при заправці штаби в моталку до максимально можливої швидкості прокатки $v = 15 \dots 30$ м / с.

На традиційних ШСГП застосування технології злиток - сляб супроводжується великими втратами металу в обрізь при коефіцієнті витрати металу $K_B = 1,09 \dots 1,12$ для маловуглецевих сталей. У 1988-1989 роках з'явилися альтернативні виробництва тонких гарячекатаних штаб на ливарно-прокатних агрегатах (ЛНА), що складаються з машини безперервного лиття тонкої (50 ... 100мм) заготовки і безперервного штабового стану гарячої прокатки (МБЛЗ-НПС). Перші ЛНА мали в своєму складі тільки чистову групу з чотирьох клітей кварто, а наступні 1-2 чорнові кліті і 5-6 клітей чистової групи. При прокатці з прискоренням штаба виходить з останньої кліті ШСГП зі швидкістю 10 ... 12 м / с, а після захоплення штаби моталкою швидкість прокатки збільшують до 20м / с і більше.

1. Перед прокаткою на обтискному стані (слябінгу) злитки нагрівають в нагрівальних колодязях до температури $t_{\text{наг}} \approx 1220 \dots 1230$ °С, що вимагає значної витрати газу і підвищує вартість прокату. Застосування останнім часом посадки злитків в колодязі з підвищеним тепловмістом (з рідкою

серцевиною) забезпечує скорочення витрат природного газу, часу нагрівання злитків в колодязях, витрати електроенергії на прокатку злитків в сляби.

2. Транспортування слябів по транзитному рольгангу від слябінга до ШСГП без теплозберігаючих екранів призводить до зниження температури сляба на 20 ... 30 °С, що викликає підвищення контактних напружень в осередках деформацій клітей ШСГП, підвищення енергосилових параметрів, додатковий знос поверхонь валків.

3. До підвищеної втрати температури розкату призводить також значні відстані між клітьями чорнової групи і, отже, великий час проходження штаби по рольгангам чорнової групи. Застосування полубезперервного процесу прокатки в чорновій групі клітей без зміни їх розташування (меткомбінат "Запоріжсталь") не покращує тепловміст штаби, але дозволяє збільшити масу сляба (рулону).

4. Відстань між останньою кліттю чорнової групи і першою кліттю чистової групи становить $\approx 65-120$ м. На цій ділянці проміжного рольганга штаба товщиною $h_{пр} \leq 40$ мм, переміщається зі швидкістю $v_{пр} \approx 2,25-3,5$ м / с, а при прокатці в чистовій групі швидкість заднього штабу (перед кліттю №5) зменшується до $v_{53} \approx 0,8 \dots 2,0$ м / с. При цьому температура заднього кінця штаби при вході в першу кліть чистової групи виявляється на $\Delta t_{пр} \approx 55 \dots 85$ °С менше, ніж переднього кінця ($\Delta t_{пр}$ - температурний градієнт по довжині розкату). Абсолютне зниження температури на проміжному рольгангу на 80-100 °С перед чистовою групою клітей викликає підвищення енергосилових параметрів прокатки штаби в клітях чистової групи, підвищення зносу поверхонь валків і їх витрати. Зменшення температури по довжині штаби в процесі прокатки ($\Delta t_{пр}$) призводить до монотонного збільшення товщини штаби до заднього кінця.

Наявність на проміжному рольгангу пристрою Coilbox (ППУ) дозволяє розкату, що виходить з останньої кліті чорнової групи, змотувати в рулон з подальшою зміною напрямку прокатки розкату в чистовій групі ШСГП. Новий процес прокатки на ШСГП 1680 ВАТ меткомбінат "Запоріжсталь"

забезпечує градієнт температур по довжині розкату $\Delta t_{пр} \approx 10 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ (менша температура на задньому кінці розкату). У ряді випадків температура заднього кінця розкату може бути на $5 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$ більше, ніж переднього.

5. На станах першого покоління невеликі діаметри робочих валків, порівняно низька твердість робочих валків, кліті оснащені електро-механічними натискними пристроями, які не забезпечують високої швидкості вертикального переміщення натискних гвинтів для точного і швидкого регулювання міжвалкового зазору і товщини штаби.

6. На безперервних станах кінцеві ділянки штаб прокочують без перегинів, що призводить до додаткового потовщення кінців. Особливо це відноситься до заднього кінця, прокочується без заднього натягу. Відсутність заднього натягу і, внаслідок цього, збільшення сили прокатки, викликає поява додаткового потовщення штаби на задньому кінці штаби. У сумі, з урахуванням впливу температурного градієнта, це потовщення на задньому кінці штаби може складати $\delta h_{п} \approx 0,12 \dots 0,30 \text{ мм}$. Застосування ППУ не забезпечує істотного зменшення потовщення задньої кінцевої ділянки готової штаби і різновтовщинність на задньому кінці становить $\delta h_{п} \approx 0,12 \dots 0,20 \text{ мм}$ (дані ВАТ меткомбінат «Запоріжсталь»). Відому пропозицію по додатковому обтисненню задньої кінцевої ділянки штаби в клітях стану не може бути універсальним, тому що ефективність знижується при збільшенні жорсткості штаби, тобто при прокатці тонких штаб. Однак, і на подібних станах збільшення товщини заднього кінця готової штаби перевищує $0,2 \text{ мм}$, що обумовлено відсутністю заднього натягу.

7. Використання Coilbox (ППУ) дозволяє збільшити температуру штаби перед чистовими клітями ШСГП. Однак при відсутності теплосберігаючого екрану мають місце суттєві втрати температури внутрішніх витків рулону (до $40 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$) в період змотування проміжного підкату в рулон, при розмотування і подачі його до чистовий групі клітей ШСГП. При цьому час охолодження внутрішніх витків виявляється приблизно в два рази більше в порівнянні з часом охолодження зовнішніх витків. Внаслідок цього

температура і товщина по довжині розкату нерівномірні, а потовщення заднього кінця готової штаби досягає $\delta h_k \geq 0,10$ мм проти мінімальної товщини штаби.

8. При переході прокатки зі швидкості 10 ... 12 м / с на максимальну швидкість 20 м / с чистової групи ШСГП витрачається додаткова потужність на прискорення обертання робочих і опорних валків всіх 6-7 клітей, виникає необхідність регулювання міжвалкових зазорів, що також вимагає додаткових витрат електроенергії і обумовлює підвищення собівартості продукції.

9. Для отримання феритної структури металу перед чистовою групою клітей встановлюють пристрій проміжного охолодження штаби для отримання температури кінця прокатки $t_k = 750 \dots 800$ °С. При цьому в процесі прокатки охолодженої штаби беруть участь всі 6-7 клітей стану, що призводить до підвищення витрат електроенергії і зносу поверхні валків.

Подальше вдосконалення технології прокатки штабової сталі виявилось в створенні ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) (рис.1.8), продукція яких виявилось більш дешевою і якісною, ніж на традиційних ШСГП.

Досягнуте в даний час максимальне виробництво штаб на ЛПМ становить до ≈ 2 млн.т в рік. При прокатці штаб на ЛПМ досягається висока точність штаб. Так, для штаб товщиною 1,2 ... 4,0 мм поздовжня різнотовщинність на основній довжині становить $\leq 0,03$ мм.

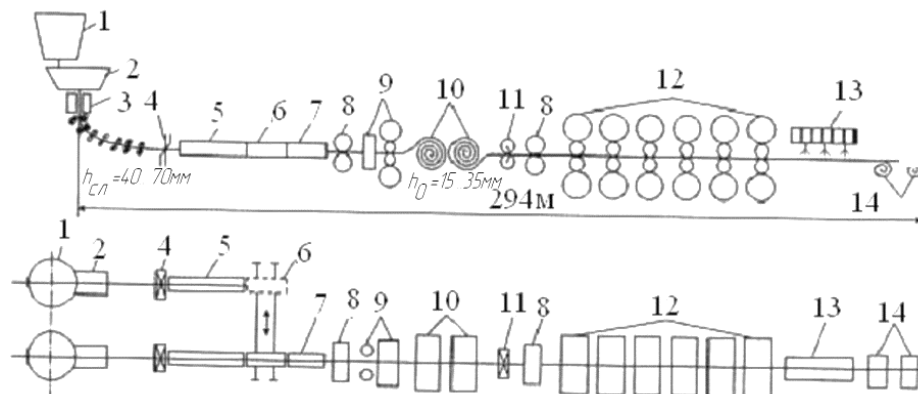


Рисунок 1.8. Схема розташування основного обладнання ЛПМ фірми «Даніелі»

1-розливний ківш; 2-проміжний ківш; 3-Кристалізатори; 4-ножиці; 5-тунельна піч; 6-паром; 7-піч витримки (термостат); 8-окалиноломач; 9-універсальна кліть; 10-ППУ; 11-летучі ножиці; 12-Чистова група клітей; 13-душируюча установка; 14-моталки.

Однак і при прокатці на ЛПМ кінцеві ділянки прокочують без перегинів, що викликає збільшення сили прокатки і потовщення штаби на зазначених ділянках. Під час прокатки штаб з товщиною $h > 2$ мм можна компенсувати відсутність натягу шляхом додаткового обтиску всіх ділянок (особливо заднього при наявності гідравлічних натискних пристроїв) або будь-яким іншим способом.

Значною мірою зазначені недоліки усуваються при використанні широкоштабового стану гарячої прокатки по розташуванню обладнання якого можна віднести до станів з новим технологічним процесом (рис.1.9). Принциповою відмінністю цього типу ШСГП (НТ) (нова технологія) є перенесення основної частки пластичної деформації на кліті чорнової групи, виконуваної при більш високій температурі металу, до проміжного рольганга і ППУ, застосування в чистовій групі всього 3х клітей з необхідним набором устаткування, в тому числі застосуванням індукційної підігрівальної печі перед чистовою групою. Схема пропонованого типу широкополосного стану для прокатки штаб з товстих слябів показана на рис.1.9.

У складі ШСГП (НТ) в чорновій групі розташовано 6 клітей, причому 5 клітей в безперервній групі, а в чистовій групі встановлено три кліті. У безперервній чорновій групі перші кліті універсального типу, в яких виробляють деформацію розкату по висоті і ширині. Деформаційний режим в клітях чорнової групи визначається розмірами вихідного сляба ($H = 150 \dots 300$ мм) і кінцевого розкату на виході з чорнової групи товщиною $h_{пр} = 3 \dots 10$ мм, а також параметрами валків (діаметр робочих валків $600 \dots 1000$ мм). Швидкості прокатки по клітях чорнової групи складають: в кліті №1 - $v = 0,45 \dots 0,5$ м / с, а в останній кліті №6 - $v = 6 \dots 14$ м / с.

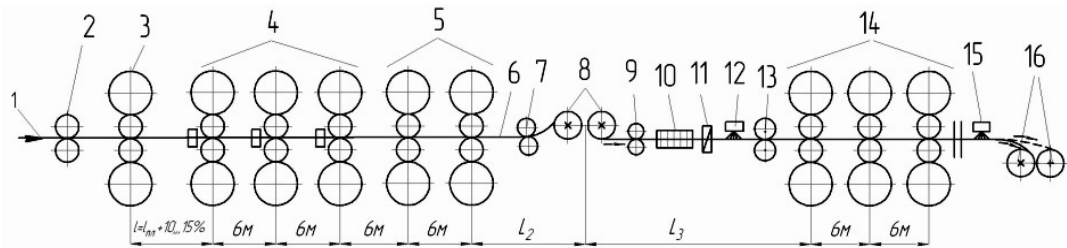


Рисунок 1.9. Схема ШСГП (НТ):

1 - сляб; 2 - окалиноломач; 3 - чорнова кліть кварто; 4 - універсальні чорнові кліті кварто з вертикальними валками; 5 - чорнові кліті кварто; 6 - проміжний розкат; 7 - напрямні ролики; 8 - ППУ з теплозберігаючим екраном; 9 - тянучі ролики; 10 - прохідна індукційна піч; 11 - ножиці; 12 - душируючий пристрій; 13 - чистовий окалиноломач; 14 - безперервна чистова група клітей; 15 - душируючий пристрій готової штаби; 16 - моталки готової штаби

Кількість клітей в чорновій групі, діаметри валків і товщина слябів визначаються заданою річною програмою стану і можуть бути встановлені заздалегідь відомими розрахунковими методами. Після чорнової групи штабу змотують на ППУ (Coilbox), які мають теплозберігаючі екрани. Між ППУ і першої кліттю чистової групи встановлені тянучі пристрої, підігрівальна прохідна індукційна піч, ножиці, душируючий пристрій і чистовий окалиноломач.

З ППУ розкат задають в першу кліть чистової групи зі швидкістю рівною, меншою або більшою швидкості виходу його з чорнової групи. Швидкість переднього кінця штаби на виході з чистової групи становить 10 ... 12 м / с, а після захоплення його моталкою швидкість валків чистової групи клітей збільшують до максимально можливої ($v_{ч} \geq 20$ м / с). Залежно від вимог до якості готової штаби на ділянці перед чистової групою розкат або охолоджують, з метою зменшення температури кінця прокатки, або додатково підігрівають в індукційній прохідній печі. Завдяки наявності ППУ і прохідній печі розкат входить в першу кліть чистової групи з контрольованою

температурою $t_n < 9000\text{C}$ без попереднього зміцнення, що дозволяє виконувати прокатку з високими ступенями обтиску.

1.4 Аналіз «вузьких місць» та заходи по реконструкції

ШСГП 1680 був пущений у роботу в 1937 році і за час роботи протерпів як моральне, так і фізичне зношування. У наслідку прогресу вироблялася часткова, поетапна реконструкція. На даний момент часу відбувається як планування, так і здійснення реконструкції на стані по аналізу «вузьких місць».

Основні «вузькі місця» на стані:

- 1) Різниця температури між хвостовою і головною частинами розкатів (температурний клин) за кліттю №4, погіршує умови точності прокату.
- 2) Гідросбиви, що служать для змиву окалини з поверхні металу на даний момент із низьким тиском води, 9-12 МПа, що приводить до поганої якості поверхні штаби і швидкому зношуванню валків.
- 3) Швидкість прокатки в чистовій групі клітей для стана гарячої прокатки дуже малі, що приводить до малої продуктивності стана.
- 4) Відсутність САРП штаби між клітями чистової групи приводить до зниження точності прокату і збільшенню навантажень по клітях.
- 5) Для змотки штаб різних товщини застосовуються моталки, у яких установлений зазор між тягнучими роликами усереднено для штаб різних товщини, що негативно впливає на якість змотки.

1.5 Опис технологічного процесу після реконструкції

Пропонований ШСГП-НТ (нова технологія) працює в такий спосіб. Товстий сляб (товщиною ПСП = 150 ... 300 мм і шириною В = 1000 ... 2000 мм) з слябінга або машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) транзитом або після підігріву в нагрівальних печах подають до чорновій групі ШСГП (НТ),

що складається з однієї окремо встановленої кліті і безперервної групи з 5 клітей кварто. У безперервній чорновій групі клітей розкат деформують до товщини ННР = (3 ... 6) h (де ННР і h - відповідно товщина проміжного розкату, що виходить з безперервної чорнової групи і товщина готової штаби, що виходить з чистової групи клітей). При цьому швидкість прокатки в останній кліті безперервної чорнової групи (кліть №6) визначається механічними характеристиками головної лінії клітей і потужністю головних приводів.

На підставі практичних даних для прокатки розкатів зазначених розмірів швидкість прокатки в останній кліті чорнової групи може становити $v = 6...12$ м/с. Перевагою збільшення кількості клітей в безперервній чорновій групі (при одночасному зменшенні кількості клітей до 3-х в чистовій групі), в порівнянні з 10-12-клітьовим ШСГП, є збільшення температури прокатки порівняно тонкої проміжної штаби і, разом з цим, зменшення кількості клітей на стані до 9-ти (при однакових розмірах валків, слябів і готової штаби, як і на традиційному ШСГП).

Після виходу з останньої кліті безперервної чорнової групи №6 розкат змотується моталкой (або Coilbox) в рулон масою 20 ... 40 т. Проміжний перемотувальний пристрій (ППУ-Coilbox) розташований на відстані 12 ... 15 м від осі останньої кліті №6 безперервної чорнової групи і втрати температури на цій ділянці будуть незначними і, крім того, є можливість підігріву штаби перед клітями чистової групи.

В чистовій групі клітей штаби прокочують по незалежному деформаційно-швидкісному режиму (від клітей чорнової групи) і цей режим може регулюватися в широких межах. Останнє дозволяє визначати товщину проміжного розкату і швидкість прокатки в перших і останніх клітях чистової групи. При цьому швидкість входу проміжного розкату в першу кліть чистової групи (кліть №7) може бути однаковою швидкості виходу з останньої кліті чорнової групи №6 (або може бути дещо більшою). штаба, що виходить з останньої кліті чорнової групи (кліть №6), внаслідок відомих причин (зниження температури і відсутність заднього натягу штаби), має велику

товщину на задній кінцевій ділянці. На перемотувальному пристрої 7,8 відбувається зміна положення утовщеного кінця для завдання його в першу кліть чистової групи (кліть №7). При такому процесі прокатки (новий задній кінець штаби має велику температуру і меншу товщину) забезпечується вирівнювання товщини по довжині штаби, а задній кінець штаби може бути на 0,05 ... 0,1 мм тонше товщини в середній частині її довжини.

Запропонована схема розташування робочих клітей забезпечує (навіть без використання індукційної печі):

- Підвищення температури розкату (штаби) по всій лінії стану на 25 ... 400С після чистової кліті;
- Підвищення точності прокатки штаби за рахунок зменшення товщини задньої кінцевої ділянки і температурного клину по довжині штаби;
- При реконструкції діючих ШСГП в стани типу ШСГП (НТ) скоротити загальну кількість клітей на одну;
- Зниження сумарної потужності прокатки по стану на 15 ... 25% за рахунок підвищення температури проміжного розкату на 90-110 °С і зменшення кількості клітей, що беруть участь в процесі прискорення штаби після захоплення її переднього кінця моталкою, з 5-7 до 3-х клітей.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок кінематичних параметрів стана 1680 для одержання штаби з розмірами 1,8×1100

Вихідний сляб $H = 160$ мм.

Розрахунок допустимих кутів захоплення.

$$D = 0.92 D_p$$

$$1 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 940=865 \text{ мм.}$$

$$2 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 810=745 \text{ мм}$$

$$3 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 580=533 \text{ мм}$$

$$4 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 590=543 \text{ мм}$$

Припустимо, що мінімально можлива температура при вході в чорнову групу клітей буде дорівнювати $t=1180$ °С. 1-2 кліть твердість поверхні робочих валків 40HSD.

Так як в чорновій групі клітей процес прокатки не є безперервним то швидкості прокатки залежать від закону сталості обсягу.

$$V_1=1.05 \text{ м/с, } V_2=1.1 \text{ м/с, } V_3=1.59 \text{ м/с, } V_4=2.21 \text{ м/с.}$$

1-2 кліть

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_\varepsilon \quad k_m=1$$

$$k_t = 1 + 0.43 \left(1 + \frac{HSD}{65} \right)^2 \quad k_v = 0.76 + 0.82(1 + 0.1v)^2$$

$$k_B = 1/1.1, \quad k_{cm}=1, \quad k_m=1, \quad k_\varepsilon=1$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1(t^0/400 - 2)^2 = 0.27 - 0.1(1180/400 - 2)^2 = 0.18$$

$$k_{v1} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 * 1.05)^2 = 1.42$$

$$k_T = 1 + 0.43(1 - 40/65)^2 = 1.06$$

$$f_1 = 0.18 * 1.06 * 1.42 = 0.27$$

$$k_{v2}=0.76+0.82(1-0.1*1.1)^2=1.36$$

$$f_2=0.18*1.06*1.36=0.26$$

3-4 кліть

Твердість валків 70HDS $t^0=1140^{\circ}\text{C}$.

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_{\varepsilon} \quad k_m=1$$

$$k_B = 1/1.1, k_{cm}=1, k_m=1, k_{\varepsilon}=1$$

$$f_{03}=0.27-0.1(t^0/400-2)^2=0.27-0.1(1140/400-2)^2=0.2$$

$$k_{v3}=0.76+0.82(1-0.1*1.6)^2=1.34$$

$$f_3=0.2*1*1.34=0.27$$

$$f_{04}=0.27-0.1(t^0/400-2)^2=0.27-0.1(1096/400-2)^2=0.22$$

$$k_{v4}=0.76+0.82(1-0.1*2.2)^2=1.26$$

$$f_4=0.22*1*1.26=0.28$$

Коефіцієнт тертя при захопленні розкату $k_3=1.35$

$$f_3=f*k_3$$

$$f_{31}=1.35*0.27=0.365$$

$$f_{32}=1.35*0.26=0.351$$

$$f_{33}=1.35*0.27=0.365$$

$$f_{34}=1.35*0.28=0.378$$

Допустимі обтиски

$$[\Delta h]=R*f_3^2$$

$$[\Delta h_1]=432.4*0.365^2=57.62 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_2]=372*0.351^2=45.89 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_3]=266.5*0.365^2=35.5 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_4]=271.5*0.378^2=38.79 \text{ мм}$$

Складаємо таблицю попередніх обтисків

$$H=160 \text{ мм}, \Delta h_{ok}=25 \text{ мм}, h_{ok}=160-25=135 \text{ мм}$$

$$\Delta h_i / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - n_i)^{0.9}$$

$$\Delta h_1 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 1)^{0.9} = 0.36$$

$$\Delta h_2 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 2)^{0.9} = 0.316$$

$$\Delta h_3 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 3)^{0.9} = 0.2$$

$$\Delta h_4 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 4)^{0.9} = 0.106$$

$$H_{np} = 23$$

$$H_1 - h_4 = \Delta h \Sigma = 135 - 23 = 112 \text{ мм}$$

$$\Delta h_i = \Delta h \Sigma * (\Delta h_i / \Delta h \Sigma)$$

$$\Delta h_1 = 0.36 * 112 = 40 \text{ мм}$$

$$\Delta h_2 = 0.316 * 112 = 38 \text{ мм}$$

$$\Delta h_3 = 0.2 * 112 = 22 \text{ мм}$$

$$\Delta h_4 = 0.106 * 112 = 12 \text{ мм}$$

Чистова група клітей

В 5 кліті $\varepsilon = 40\%$

$$\Delta h_5 = \varepsilon * h_{np} = 0.4 * 23 = 9.2 \text{ мм}$$

В 10 кліті $\varepsilon = 15\%$

$$\Delta h_{10} = h_k \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} - 1 \right) = 1.8 \left(\frac{1}{1 - 0.15} - 1 \right) = 0.32 \text{ мм}$$

$$\Delta h \Sigma = h_{np} - h_k - \Delta h_5 - \Delta h_{10} = 23 - 1.8 - 9.2 - 0.32 = 11.68 \text{ мм}$$

Тоді $\Delta h_i / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9 - n_i)^{1.3}$

$$\Delta h_6 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9 - 6)^{1.3} = 0.456$$

$$\Delta h_7 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9 - 7)^{1.3} = 0.304$$

$$\Delta h_8 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9 - 8)^{1.3} = 0.174$$

$$\Delta h_9 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9 - 9)^{1.3} = 0.085$$

$$\Delta h_6 = 11.68 * 0.456 = 5.33 \text{ мм}$$

$$\Delta h_7 = 11.68 * 0.304 = 3.55 \text{ мм}$$

$$\Delta h_8 = 11.68 * 0.174 = 2.03 \text{ мм}$$

$$\Delta h_9 = 11.68 * 0.085 = 0.99 \text{ мм}$$

Розрахунок швидкостей

Так як в чорновій групі клітей процес прокатки не є безперервним то швидкості прокатки залежать від закону сталості об'єму.

$$V_1 = 1.05 \text{ м/с}, V_2 = 1.1 \text{ м/с}, V_3 = 1.6 \text{ м/с}, V_4 = 2.2 \text{ м/с}$$

А в чистовій групі йде безперервна прокатка $V_{10} = 9 \text{ м/с}$

$$V_i = V_{10} h_{10} / h_i$$

$$V_9 = 9 * 1.8 / 2.12 = 7.64 \text{ м/с}$$

$$V_8 = 9 * 1.8 / 3.11 = 5.21 \text{ м/с}$$

$$V_7 = 9 * 1.8 / 5.14 = 3.15 \text{ м/с}$$

$$V_6 = 9 * 1.8 / 8.69 = 1.86 \text{ м/с}$$

$$V_5 = 9 * 1.8 / 14.02 = 1.12 \text{ м/с}$$

Розрахунок втрати температури

Умовно приймемо, що сляб в першу кліть повинен подаватися з температурою не менше 1180 °С.

$$L_{1-2} = 12 \text{ м}$$

$$L_{2-3} = 11 \text{ м}$$

$$L_{3-4} = 20 \text{ м}$$

Падіння Δt на рольгангу між клітями

$$1-2 \Delta t = 5 \text{ °С}$$

$$2-3 \Delta t = 10 \text{ °С}$$

$$3-4 \Delta t = 15 \text{ °С}$$

$$4-5 \Delta t = 95 \text{ °С}$$

$$t_H = 1180 \text{ °С} \quad \Delta t_i = 0.0021 \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \frac{\tau_i}{H_i}$$

$$\Delta t_1 = 0.0021 \left(\frac{1180 + 273}{100} \right)^4 \frac{9}{135} = 6.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_1 = L_1 / V_1 = 9 / 1 = 9$$

t_2 на вході в 2 кліть

$$t_2 = 1180 - \Delta t_1 - \Delta t_r - \Delta t_p = 1180 - 6.2 - 10 - 5 = 1159 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = L_2 / V_2 = 12 / 1.05 = 11.43$$

$$\Delta t_2 = 0.0021 \left(\frac{1159 + 273}{100} \right)^4 \frac{11.43}{95} = 10.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_3 на вході в 3 кліть

$$t_3 = 1159 - \Delta t_2 - \Delta t_r - \Delta t_p = 1159 - 10.6 - 10 - 10 = 1128.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = L_3 / V_3 = 17 / 1.1 = 15.46$$

$$\Delta t_3 = 0.0021 \left(\frac{1128.4 + 273}{100} \right)^4 \frac{15.46}{57} = 21.97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_4 на вході в 4 кліть

$$t_4 = 1128.4 - \Delta t_3 - \Delta t_p = 1128.4 - 21.97 - 15 = 1091.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_4 = L_4 / V_4 = 20 / 1.59 = 12.58$$

$$\Delta t_4 = 0.0021 \left(\frac{1104 + 273}{100} \right)^4 \frac{12.58}{36} = 25.43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Δt_5 на вході в 5 кліть

$$t_5 = 1104 - \Delta t_4 - \Delta t_{np} = 1091.4 - 25.43 - 95 = 971 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температуру в клітях чистової групи знаходимо за формулою

$$t_i = t_{пк} - \left(\frac{tnk - tk}{\frac{hnk}{hk} - 1} \right) \left(\frac{hnk}{hi} - 1 \right)$$

$$t_6 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1.8} - 1} \right) \left(\frac{23}{14.02} - 1 \right) = 964 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_7 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1.8} - 1} \right) \left(\frac{23}{8.69} - 1 \right) = 954 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_8 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1.8} - 1} \right) \left(\frac{23}{5.14} - 1 \right) = 935 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_9 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1.8} - 1} \right) \left(\frac{23}{3.11} - 1 \right) = 905 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{10} = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1.8} - 1} \right) \left(\frac{23}{2.12} - 1 \right) = 870 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Таблиця 2.1 Режим деформації штаб 1.8*1100 мм Ст.08пс

№ кліті	H мм	h мм	Δh мм	V м/с	t °C
1	135	95	40	1,05	1180
2	95	57	38	1,1	1159
3	57	35	22	1,59	1128
4	35	23	12	2,21	1091
5	23	14	9	1,12	971
6	14	8,69	5,33	1,86	964
7	8,69	5,14	3,55	3,15	954
8	5,14	3,11	2,03	5,21	935
9	3,11	2,12	0,99	7,64	905
10	2,12	1,8	0,32	9	870

Розрахунок енергосилових параметрів прокатки**1 кліть** $\Delta h=40$ мм

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{470 * 40} = 137,1 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{135+95}{2} = 115 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 137,1/115 = 1,2$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = 40/135 = 0.3$$

$$u = 1050 * 0.3 / 137.1 = 2.3 \text{ с}^{-1}$$

Напруження течії металу Ст.08пс

Хімічний склад

кремній(Si)-0.03%, марганець(Mn)-0.4%, мідь(Cu)-0.25%, нікель(Ni)-0.25%, сірка(S)-0.04%, вуглець(C)-0.08%, фосфор(P)-0.04%, хром(Cr)-0.1%

Вуглецевий коефіцієнт

$$N = C + Si + Mn + Cr + Ni + Cu = 0,08 + 0,03 + 0,4 + 0,1 + 0,25 + 0,25 = 1,11\%$$

Базове напруження течії металу

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25[1 - ((5-N)/4,5)^{1,8}] = 80 + 25[1 - ((5-1,11)/4,5)^{1,8}] = 85,77 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1180}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,6$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,3)^2) = 1,32$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 2,3) = 0,78$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 0,6 * 1,32 * 0,78 = 52,99 \text{ Н/мм}^2$$

$$P_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f n * l_d / h_{cp}) = 1,15 * 52,99 (1 + 0,48 + 0,38 + 1,2) = 72,26 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки в 1 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 72,26 * 0,1371 * 1,03 = 10,2 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{a}) \left(\frac{ld}{h \delta} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{a}}\right)}$$

Для 1 кліті $f/a \approx 1$

$$\Psi = (0,498 + 0,007) (1,2)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{1}\right)} = 0,494$$

$$M = \Psi * l_d * P = 0,494 * 0,1371 * 10,2 = 0,69 \text{ МНм}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 660 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P * f_{под} * d_{ш} (D_p / D_{on})$$

$$M_{mp1} = 10,2 * 0,003 * 0,66 (940 / 1340) = 0,0142 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,11 (2M + M_{mp1}) = 0,11 (2 * 0,69 + 0,0142) = 0,15 \text{ МНм}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 2 * 0,69 + 0,15 + 0,0142 = 1,54 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 19,26$$

$$M_{дв} = 1,54 / 19,26 = 0,08 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * V * i / \pi D = 60 * 1,05 * 19,26 / 3,14 * 0,94 = 411 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{6300 * 0,9}{411 * 10^2} = 0,134 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$k_n = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,08/0,134 = 0,6$$

Двигун не навантажен

$$N_{дд} = 960 * M * V/R = 960 * 1,54 * 1,05/0,47 = 4483 \text{ кВт}$$

2 кліть

$\Delta h = 38 \text{ мм}$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{405 * 38} = 124 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{95+57}{2} = 76 \text{ мм}$$

$$l_d/h_{cp} = 124/76 = 1,63$$

$$u = \frac{v * e}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{38}{95} = 0,4$$

$$u = \frac{1100 * 0,4}{124} = 3,55 \text{ с}^{-1}$$

$$f_n = 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,26 - 0,018 = 0,4$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1159}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,64$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,4$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 3,55) = 0,81$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 0,64 * 1,4 * 0,81 = 62,79 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 62,79 (1 + 0,48 * 0,4 * 1,63) = 96 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 2 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 95 * 0,124 * 1,03 = 12,1 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{a}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{a}})}$$

$$\alpha = l_d/R = 124/405 = 0,31$$

$$f/\alpha = 0,26/0,31 = 0,85$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 * 0,85) (1,63)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{0,85})} = 0,47$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,47 * 0,124 * 12,1 = 0,71 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш}=480$ мм

$$M_{тр1}=P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1}=12,1 \cdot 0,003 \cdot 0,48 \cdot (840/1240) = 0,014 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2}=0,11(2M+M_{тр1})=0,11(2 \cdot 0,71+0,014) = 0,16 \text{ МНм}$$

$$M_{пр}=2M+M_{тр1}+M_{тр2}=2 \cdot 0,71+0,012+0,16=1,59 \text{ МНм}$$

$$M_{дв}=M_{пр}/i \quad i=19,5$$

$$M_{дв}=1,59/19,5=0,08 \text{ МНм}$$

$$M_H=0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n=60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,1 \cdot 19,5 / 3,14 \cdot 0,81 = 500 \text{ об/мин}$$

$$M_H=0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{500 \cdot 10^2} = 0,07 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,08/0,07 = 1,18$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 \cdot M \cdot V/R = 960 \cdot 1,59 \cdot 1,1/0,405 = 4145 \text{ кВт}$$

3 кліть

$\Delta h = 22$ мм

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{290 \cdot 22} = 79,8 \text{ мм}$$

$$h_{ср} = \frac{H+h}{2} = \frac{57+35}{2} = 46 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{ср} = 79,8/46 = 1,73$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{22}{57} = 0,38$$

$$u = \frac{1590 \cdot 0,38}{79,8} = 7,68 \text{ с}^{-1}$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,27 - 0,018 = 0,41$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1128}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,7$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,38)^2) = 1,38$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 7,68) = 0,87$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 0,7 * 1,38 * 0,87 = 73 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 73 (1 + 0,48 * 0,41 * 1,73) = 113 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 3 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 113 * 0,0798 * 1,03 = 9 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d / R = 79,8 / 290 = 0,28$$

$$f / \alpha = 0,27 / 0,28 = 0,93$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 * 0,93) (1,73)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{0,93})} = 0,47$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,47 * 0,0798 * 9 = 0,35 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{Tp1} = P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{Tp1} = 9 * 0,003 * 0,396 (580 / 1240) = 0,005 \text{ МНм}$$

$$M_{Tp2} = 0,11(2M + M_{Tp1}) = 0,11(2 * 0,35 + 0,005) = 0,078 \text{ МНм}$$

$$M_{пп} = 2M + M_{Tp1} + M_{Tp2} = 2 * 0,35 + 0,005 + 0,078 = 0,789 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{пп} / i \quad i = 10,15$$

$$M_{дв} = 0,789 / 10,15 = 0,078 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * v * i / \pi * D = 60 * 1,59 * 10,15 / 3,14 * 0,58 = 530 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{4000 * 0,9}{530 * 10^2} = 0,066 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,078 / 0,066 = 1,18$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 * M * V / R = 960 * 0,789 * 1,59 / 0,29 = 4153 \text{ кВт}$$

4 кліть

$\Delta h = 12 \text{ мм}$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{295 * 12} = 60 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{35+23}{2} = 29 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 60 / 29 = 2$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{12}{35} = 0,34$$

$$u = \frac{2210 * 0,34}{60} = 12,5 \text{ с}^{-1}$$

$$f_n = 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,28 - 0,018 = 0,43$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1091}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,78$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,34)^2) = 1,36$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 12,5 - 2,3) = 1,05$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 1,05 * 0,7 * 1,36 = 96 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 96 (1 + 0,48 * 0,43 * 2) = 157,33 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 4 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 157,33 * 0,06 * 1,03 = 9,6 \text{ МН}$$

$$\Psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 60 / 295 = 0,21$$

$$f / \alpha = 0,28 / 0,21 = 1,39$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 * 1,39 \right) (2)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{1,39} \right)} = 0,48$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,48 * 0,06 * 9,6 = 0,274 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш}=396$ мм

$$M_{тр1}=P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1}=9,6 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \cdot (590/1240) = 0,005 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2}=0,11(2M+M_{тр1})=0,11(2 \cdot 0,274+0,005)=0,061 \text{ МНм}$$

$$M_{пр}=2M+M_{тр1}+M_{тр2}=2 \cdot 0,274+0,005+0,061=0,615 \text{ МНм}$$

$$M_{дв}=M_{пр}/i \quad i=7,36$$

$$M_{дв}=0,615/7,36=0,084 \text{ МНм}$$

$$M_H=0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n=60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 2,2 \cdot 7,36 / 3,14 \cdot 0,59 = 526 \text{ об/хв}$$

$$M_H=0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{526 \cdot 10^2} = 0,067 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,084/0,067 = 1,25$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 \cdot M \cdot V/R = 960 \cdot 0,615 \cdot 2,21/0,295 = 4420 \text{ кВт}$$

5 кліть

$\Delta h = 9$ мм

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 \cdot 9} = 52,8 \text{ мм}$$

$$h_{ср} = \frac{H+h}{2} = \frac{23+14}{2} = 18,5 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{ср} = 52,8/18,5 = 2,9$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{9}{23} = 0,4$$

$$u = \frac{1120 \cdot 0,4}{52,8} = 8,3 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{971}{400} - 2 \right)^2 = 0,25$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,12)^2 = 1,4$$

$$\begin{aligned}
k_m &= 1 \\
f &= 0,25 * 1,4 = 0,35 \\
f_n &= 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,35 - 0,018 = 0,525 \\
k_t &= 1,66 - 1,1 \left(\frac{971}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,05 \\
k_\varepsilon &= 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,4 \\
k_u &= 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 8,3 - 2,3) = 1,01 \\
\sigma_T &= \sigma_{T0} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 1,01 * 1,05 * 1,4 = 127,7 \text{ Н/мм}^2 \\
p_{cp} &= 1,15 \sigma_T(1 + 0,48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 134,5(1 + 0,48 * 0,52 * 2,9) = 257 \text{ Н/мм}^2
\end{aligned}$$

Сила прокатки у 5 кліті

$$\begin{aligned}
P &= p_{cp} * l_d * B = 257 * 0,0528 * 1,03 = 14 \text{ МН} \\
\Psi &= (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}})} \\
\alpha &= l_d / R = 52,8 / 310 = 0,17 \\
f / \alpha &= 0,33 / 0,17 = 2,08 \\
\psi &= (0,498 + 0,007 * 2,08) (2,9)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{2,08})} = 0,48 \\
M &= \psi * l_d * P = 0,48 * 0,0528 * 14 = 0,355 \text{ МН}
\end{aligned}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$\begin{aligned}
M_{тp1} &= P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right) \\
M_{тp1} &= 14 * 0,003 * 0,396 (620 / 1240) = 0,008 \text{ МНм} \\
M_{тp2} &= 0,05(2M + M_{тp1}) = 0,05(2 * 0,355 + 0,008) = 0,079 \text{ МНм} \\
M_{тp} &= 2M + M_{тp1} + M_{тp2} = 2 * 0,355 + 0,079 + 0,008 = 0,798 \text{ МНм} \\
M_{дв} &= M_{тp} / i \quad i = 7,24 \\
M_{дв} &= 0,798 / 7,24 = 0,11 \text{ МНм} \\
M_H &= 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2} \\
n &= 60 * v * i / \pi * D = 60 * 1,12 * 7,24 / 3,14 * 0,62 = 250 \text{ об/хв} \\
M_H &= 0,975 \frac{5000 * 0,95}{250 * 10^2} = 0,185 \text{ МНм}
\end{aligned}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{\Pi} = \frac{M_{ДВ}}{M_H} = 0,107/0,185 = 0,59$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{ДВ} = 960 * M * V / R = 960 * 0,798 * 1,12 / 0,31 = 2769 \text{ кВт}$$

6 кліть

$\Delta h = 5.33 \text{ мм}$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 * 5.33} = 40.65 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{14+8.69}{2} = 11.35 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 40.65 / 11.35 = 3.58$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{5.33}{0.38} = 0,38$$

$$u = \frac{1860 * 0,38}{40.65} = 17.4 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{964}{400} - 2 \right)^2 = 0,25$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1 - 0,1 * 1,86)^2 = 1,3$$

$k_m = 1$

$$f = 0,25 * 1,3 = 0,33$$

$$f_n = 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,33 - 0,018 = 0,51$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{964}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,07$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 (1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43 (1 + 6,3 (0,5 - 0,38)^2) = 1,39$$

$$k_u = 1,03 + 0,1 (\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1 (\ln 17.4 - 2,3) = 1,09$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85.77 * 1,07 * 1,39 * 1,09 = 138,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 138.7 (1 + 0,48 * 0,51 * 3.58) = 300 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 6 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 300 * 0,04065 * 1,03 = 12.54 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}})}$$

$$\alpha = l_d/R = 40.65/310 = 0,13$$

$$f/\alpha = 0,33/0,13 = 2,52$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 * 2,52) (3.58)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{2,52})} = 0,48$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,48 * 0,04065 * 12.54 = 0,247 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 12.54 * 0,003 * 0,396 (620/1240) = 0,007 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,05(2 * 0,247 + 0,007) = 0,04 \text{ МНм}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 * 0,247 + 0,055 + 0,007 = 0,554 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{пр}/i \quad i = 4.67$$

$$M_{дв} = 0,554/4.67 = 0.119 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * v * i / \pi * D = 60 * 1,186 * 4.67 / 3,14 * 0,31 = 265 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 * 0,95}{265 * 10^2} = 0,173 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,119/0,173 = 0,685$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 * M * V/R = 960 * 0,554 * 1,86/0,31 = 3188 \text{ кВт}$$

7 кліть

$\Delta h = 3.55 \text{ мм}$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 * 3.55} = 33.17 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{8.69+5.14}{2} = 6.915 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 33.17 / 6.915 = 4.8$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{3.55}{8.69} = 0,4$$

$$u = \frac{315 \cdot 0,4}{33.14} = 38.79 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{954}{400} - 2 \right)^2 = 0,26$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 3.15)^2 = 1,14$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,26 \cdot 1,14 = 0,29$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,29 - 0,018 = 0,449$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{954}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,1$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,41$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 38.79 - 2,3) = 1,17$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85.77 \cdot 1,1 \cdot 1,17 \cdot 1,41 = 154 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 f_n \cdot l_d \cdot h_{cp}) = 1,15 \cdot 154 (1 + 0,48 \cdot 0,449 \cdot 4.8) = 361 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 7 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 361 \cdot 0,03317 \cdot 1,03 = 12.33 \text{ МН}$$

$$\Psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 33.17 / 310 = 0,11$$

$$f / \alpha = 0,29 / 0,11 = 2,73$$

$$\Psi = \left(0,498 + 0,007 \cdot 2,73 \right) (24.8)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{2,73} \right)} = 0,48$$

$$M = \Psi \cdot l_d \cdot P = 0,48 \cdot 0,03317 \cdot 12.33 = 0,196 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 12.33 \cdot 0,003 \cdot 0,396 (620 / 1240) = 0,007 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,05(2 \cdot 0,196 + 0,007) = 0,044 \text{ МНм}$$

$$M_{\text{пр}} = 2M + M_{\text{тр1}} + M_{\text{тр2}} = 2 * 0,196 + 0,044 + 0,007 = 0,442 \text{ МНм}$$

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{пр}} / i \quad i = 2.75$$

$$M_{\text{дв}} = 0,442 / 2.75 = 0.161 \text{ МНм}$$

$$M_{\text{н}} = 0,975 \frac{N_{\text{дв}} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * v * i / \pi * D = 60 * 3.15 * 2.75 / 3,14 * 0,31 = 265 \text{ об/хв}$$

$$M_{\text{н}} = 0,975 \frac{5000 * 0,95}{265 * 10^2} = 0,173 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{\text{п}} = \frac{M_{\text{дв}}}{M_{\text{н}}} = 0,161 / 0,173 = 0,927$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{\text{дв}} = 960 * M * V / R = 960 * 0,442 * 3.15 / 0,31 = 4315 \text{ кВт}$$

8 кліть

$$\Delta h = 2.03 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 * 2.03} = 25.1 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{H + h}{2} = \frac{5.14 + 3.11}{2} = 4.13 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{\text{ср}} = 25.1 / 4.13 = 6.08$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{2.03}{5.14} = 0.39$$

$$u = \frac{521 * 0.39}{25.1} = 82.02 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{935}{400} - 2 \right)^2 = 0,26$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1 - 0,1 * 5.21)^2 = 0.95$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,26 * 0.95 = 0,25$$

$$f_n = 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,25 - 0,018 = 0,374$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{935}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,12$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,39)^2) = 1,4$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 82,02 - 2,3) = 1,24$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 1,12 * 1,24 * 1,4 = 170,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 170,7 (1 + 0,48 * 0,37 * 6,08) = 410 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 8 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 410 * 0,0251 * 1,03 = 10,61 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d / R = 325,1 / 310 = 0,08$$

$$f / \alpha = 0,25 / 0,08 = 3,03$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 * 3,03) (6,08)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{3,03})} = 0,48$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,48 * 0,0251 * 10,61 = 0,127 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{он}} \right)$$

$$M_{тр1} = 10,61 * 0,003 * 0,396 (620 / 1240) = 0,006 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,11(2 * 0,127 + 0,006) = 0,029 \text{ МНм}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 * 0,127 + 0,029 + 0,006 = 0,289 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 2$$

$$M_{дв} = 0,289 / 2 = 0,144 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * v * i / \pi * D = 60 * 5,21 * 2 / 3,14 * 0,31 = 320 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 * 0,95}{320 * 10^2} = 0,144 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{\Pi} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,145 / 0,144 = 1,003$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 * M * V / R = 960 * 0,289 * 5.21 / 0,31 = 4666 \text{ кВт}$$

9 кліть

$$\Delta h = 0.99 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 * 0.99} = 17.5 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{3.11+3.12}{2} = 2.62 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 17.5 / 2.62 = 6.7$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{0.99}{3.11} = 0,32$$

$$u = \frac{764 * 0,39}{25.1} = 138.83 \text{ c}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{905}{400} - 2 \right)^2 = 0,26$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1 - 0,1 * 7.64)^2 = 0.81$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,26 * 0.81 = 0,21$$

$$f_n = 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,21 - 0,018 = 0,32$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{905}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,23$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 (1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43 (1 + 6,3 (0,5 - 0,32)^2) = 1,34$$

$$k_u = 1,03 + 0,1 (\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1 (\ln 138.83 - 2,3) = 1,29$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85.77 * 1,23 * 1.29 * 1,34 = 182.72 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 182.72 (1 + 0,48 * 0,32 * 6.7) = 427 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 8 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 427 * 0,0175 * 1,03 = 7.7 \text{ МН}$$

$$\Psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 17.5 / 310 = 0,06$$

$$f / \alpha = 0,25 / 0,06 = 3.75$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 * 3,75) (6,7)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{3,75})} = 0,48$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,48 * 0,0175 * 7,7 = 0,066 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 7,7 * 0,003 * 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,005 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2} = 0,05 (2M + M_{тр1}) = 0,05 (2 * 0,066 + 0,005) = 0,015 \text{ МНм}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 * 0,066 + 0,015 + 0,005 = 0,151 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 1,56$$

$$M_{дв} = 0,151 / 1,56 = 0,097 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * v * i / \pi * D = 60 * 7,64 * 1,56 / 3,14 * 0,31 = 365 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 * 0,95}{365 * 10^2} = 0,126 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,097 / 0,126 = 0,77$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 * M * V / R = 960 * 0,151 * 7,64 / 0,31 = 3563 \text{ кВт}$$

10 кліть

$$\Delta h = 0,32 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 * 0,32} = 9,96 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H + h}{2} = \frac{2,12 + 1,8}{2} = 1,96 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 9,96 / 1,96 = 5,08$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,32}{2,12} = 0,15$$

$$u = \frac{900 * 0,15}{9,96} = 136,4 \text{ c}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{870}{400} - 2 \right)^2 = 0,27$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 * 9)^2 = 0,77$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,27 * 0,77 = 0,21$$

$$f_n = 1,6 * f - 0,018 = 1,6 * 0,21 - 0,018 = 0,31$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{870}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,34$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,15)^2) = 1,1$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 136,4 - 2,3) = 1,29$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85,77 * 1,34 * 1,1 * 1,29 = 162,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T(1 + 0,48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1,15 * 162,7(1 + 0,48 * 0,31 * 5,08) = 329 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 10 кліті

$$P = p_{cp} * l_d * B = 329 * 0,00996 * 1,03 = 3,37 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d / R = 9,96 / 310 = 0,03$$

$$f / \alpha = 0,21 / 0,03 = 7$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 * 7) (5,08)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{7})} = 0,51$$

$$M = \psi * l_d * P = 0,51 * 0,00996 * 3,37 = 0,017 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 3,37 * 0,003 * 0,396 (620 / 1240) = 0,002 \text{ МНм}$$

$$M_{тр2} = 0,11(2M + M_{тр1}) = 0,11(2 * 0,017 + 0,002) = 0,004 \text{ МНм}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 * 0,017 + 0,004 + 0,002 = 0,041 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 1,41$$

$$M_{дв} = 0,041 / 1,41 = 0,029 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} * \eta}{n * 10^2}$$

$$n = 60 * v * i / \pi * D = 60 * 9 * 1,41 / 3,14 * 0,31 = 390 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 * 0,95}{320 * 10^2} = 0,144 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,145 / 0,144 = 0,24$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 * M * V / R = 960 * 0,041 * 9 / 0,31 = 1136 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.2 Геометричні та енергосилові параметри прокатки штаб 1,8*1030 мм Ст.08пс

№ кліті	l_d , мм	$l_d/h_{ср}$, мм	σ_T , Н/мм ²	f	$\rho_{ср}$, Н/мм ²	P , МН	ψ	$M_{пр}$, МНм	N , кВт
Чорнова група клітей									
1	137,1	1,2	2,99	0,27	72,26	10,2	0,494	1,54	3303
2	124	1,63	62,79	0,26	95	12,1	0,47	1,59	4145
3	79,8	1,73	73	0,27	113	9	0,47	0,789	4153
4	60	2	96	0,28	157,33	9,6	0,48	0,615	4420
Чистова група клітей									
5	52,8	2,9	127,7	0,35	257	14	0,48	0,798	2769
6	40,65	3,58	138,7	0,33	300	12,54	0,48	0,554	3188
7	33,17	4,8	154	0,29	361	12,33	0,48	0,442	4315
8	25,1	6,08	170,7	0,25	410	10,61	0,48	0,289	4666
9	17,5	6,7	182,72	0,21	427	7,7	0,48	0,151	3563
10	9,96	5,08	162,7	0,21	329	3,37	0,51	0,041	1136

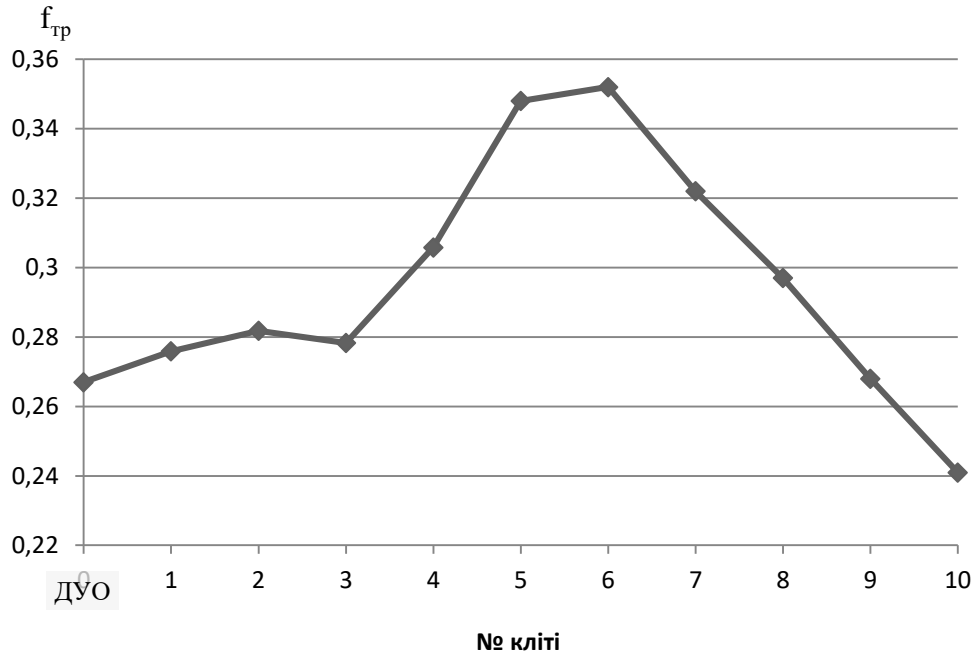


Рисунок 2.1 – Графік розподілу коефіцієнта тертя по клітках

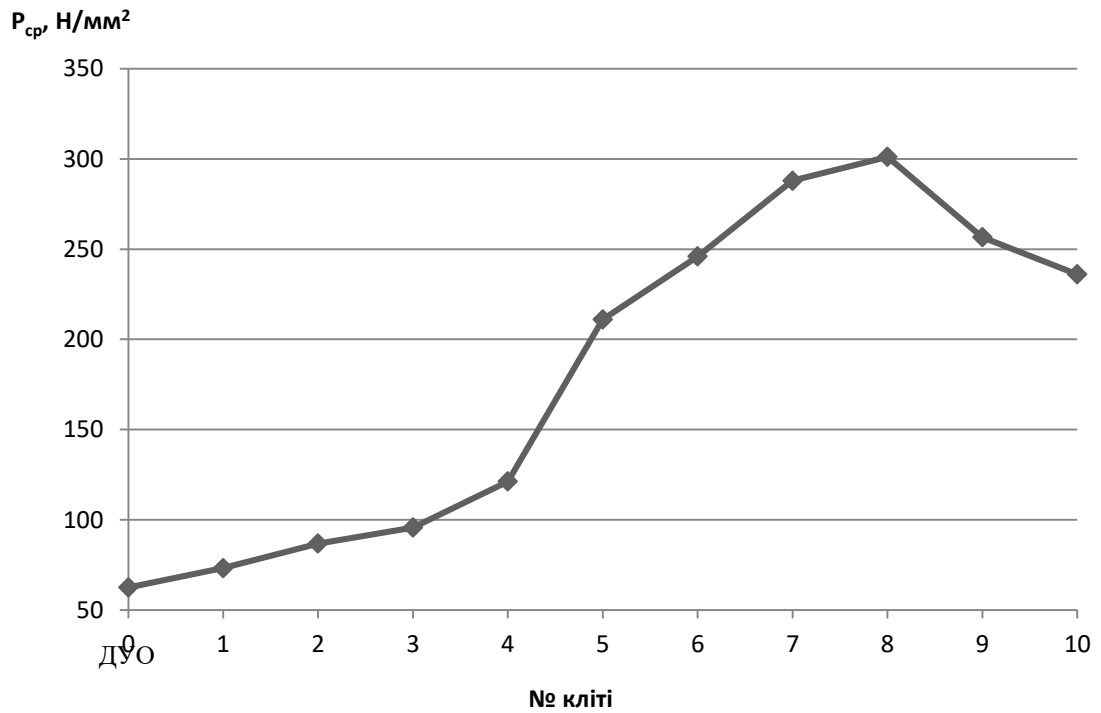


Рисунок 2.2 – Графік розподілу середнього контактного тиску по клітках

$P, \text{МН}$

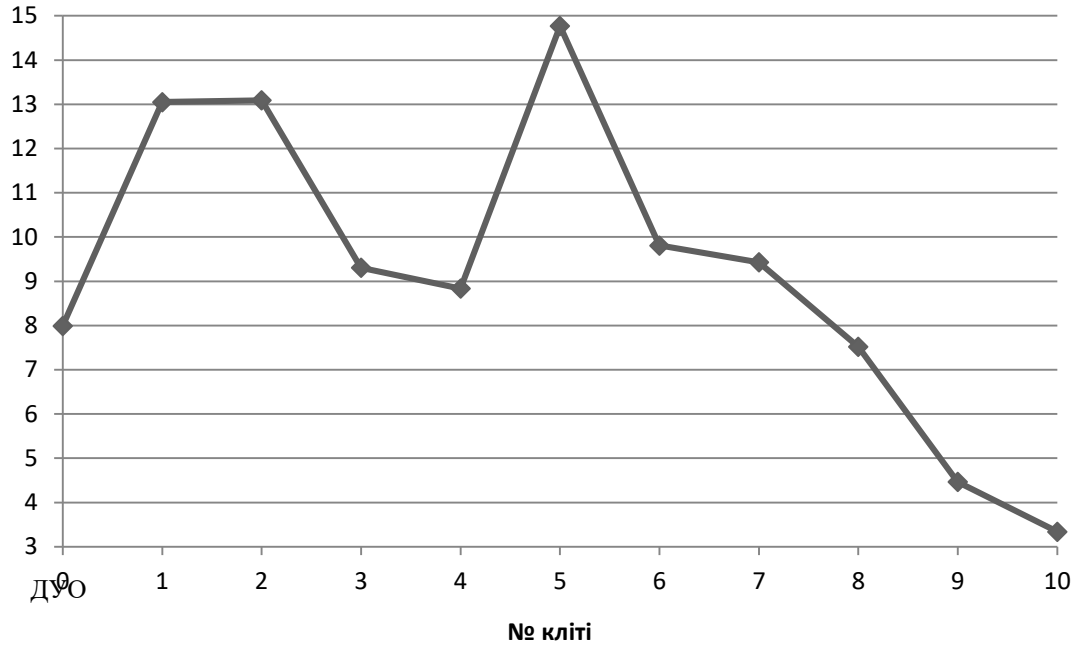


Рисунок 2.3 – Графік розподілу зусилля прокатування по клітях

$M_{пр}, \text{МН}\cdot\text{м}$

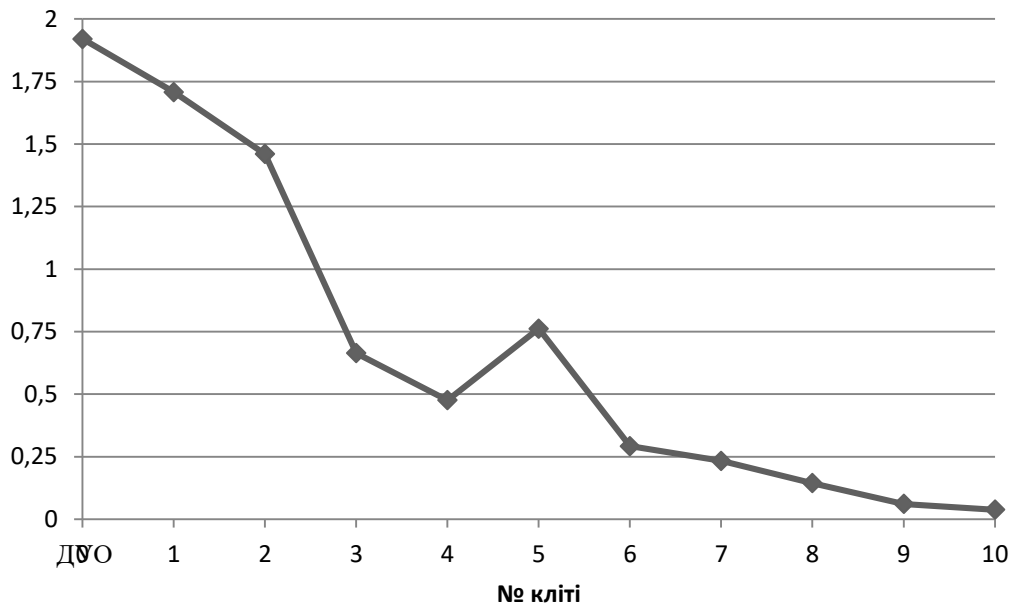


Рисунок 2.4 – Графік розподілу моменту прокатування по клітях

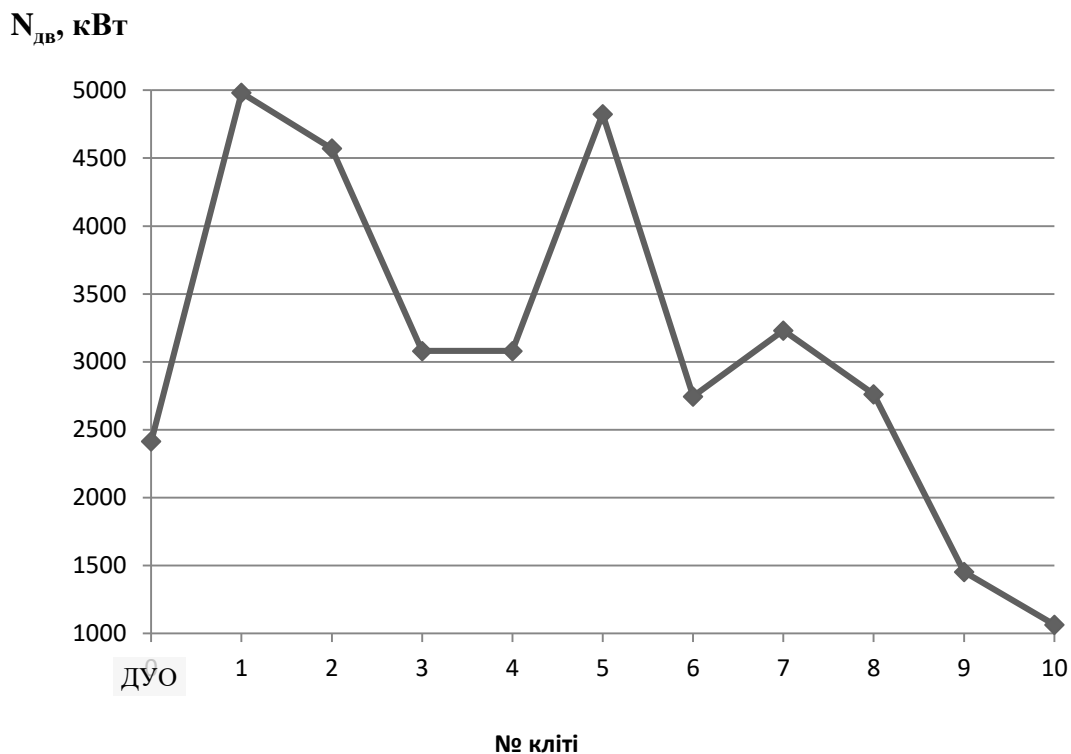


Рисунок 2.5 – Графік розподілу потужності двигуна по клітях

2.3 Розрахунок техніко-економічних показників виробництва

Розрахунок продуктивності стану виконуємо для профілів $1,5 \times 1050$ мм.

Розрахунок темпу прокатки згідно

$$T = t_m + t_n$$

де T - темп прокатки; t_m машинний час прокатки -; t_n - час паузи.

$$t_m = 59\text{с}; t_n = 5\text{с}; T = 59 + 5 = 64\text{с}$$

Маса рулонів отримана при прокатці згідно $G = 5,9\text{т}$;

Годинна продуктивність стану:

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

$$A = \frac{3600 \cdot 5,9}{64} = 331,8 \text{ т/год.}$$

Річна продуктивність стану:

$$A_r = A_{cp} \cdot A_{год}$$

де $A_{год}$ - число робочих годин у році рівне 6472,2 г. тоді визначаємо A_r ,

$$A_r = 331,8 \cdot 6472,2 = 2147475,96 \text{ т.}$$

Розрахунок собівартості 1 т прокату

Розраховуємо суму витрат на відходи виробництва:

$$\text{Сляби: } 1,1 \times 8590,66 = 9049,73 \text{ грн.};$$

$$\text{Кінці і обріз: } 0,08 \times 43,8 = 2,904 \text{ грн.}$$

$$\text{Чад і окалина: } 0,02 \times 88,5 = 2,37 \text{ грн.}$$

Визначаємо витрати по паливу:

$$\text{Газ природний: } 0,0992 \times 3297,36 = 328,7 \text{ грн.}$$

Визначаємо витрати на енергетику:

$$\text{Електроенергія: } 0,154 \times 1131,72 = 174,28 \text{ грн.};$$

Пара: $0,0134 \times 93 = 1,25$ грн.;

Вода: $0,06 \times 123 = 7,38$ грн.;

Повітря: $0,041 \times 25,66 = 1,05$ грн.;

Цехова вартість 1 тони прокату: 9565,66 грн. ;

Змінне устаткування, інструмент інвентар 404,35 грн.;

Таблиця 2.4 – Калькуляція собівартості

Найменування	Од. вимір.	кількість	Ціна, грн	Сума, грн
1. Задано	т	1,1	8590,66	9049,73
2. Відходи	т	0,1		5,2
кінці і обріз	т	0,08	43,8	2,904
чад і окалина	т	0,02	88,5	2,37
3. Витрата по переділу:				
газ природний	м ³	0,0992	3297,36	328,7
електроенергія	кВт/г	0,154	1131,72	174,28
Пара	Гкал	0,0126	93	1,25
Вода	м ³	0,06	123	7,38
повітря	м ³	0,041	25,66	1,05
Разом енерговитрати				512,66
Допоміжні матеріали				4,38
Змінне обладнання				5,97
Поточний ремонт				17,43
Інші цех. витрати				12,6
Разом по переділу				47,36
Цехова собівартість				9565,66

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Головна лінія

Чистова група складається з семи клітей «кварто» (№№1-7). Всі робочі кліті складаються з: станини, валкової арматури, натискних і врівноважуючих пристроїв. Для обертання валів приймають електродвигуни, які передають обертальні рухи через редуктор на шестерінчасту кліть і далі на валки через шпинделі. До складу головної лінії входять: електродвигун, редуктор, шестерінчаста кліть, шпинделі, прокатні валки і станина. Кожний елемент відповідає за стабільну роботу цілком всього стану, оскільки прокатна кліть є основне устаткування стану. Схема головної лінії приведена на рисунку 3.1.

Електродвигун, розташований в головній лінії є механізмом, що перетворює електричну енергію в механічну обертальну енергію, яка за допомогою муфт з шківів електродвигуна на силовий редуктор. Силовий редуктор збільшує потужність обертального руху за рахунок передавального числа редуктора. Щоб передати різнойменні рухи на валки від редуктора в лінії кліті встановлена шестерінчаста кліть, яка, через шпинделя, передає обертання на валки.

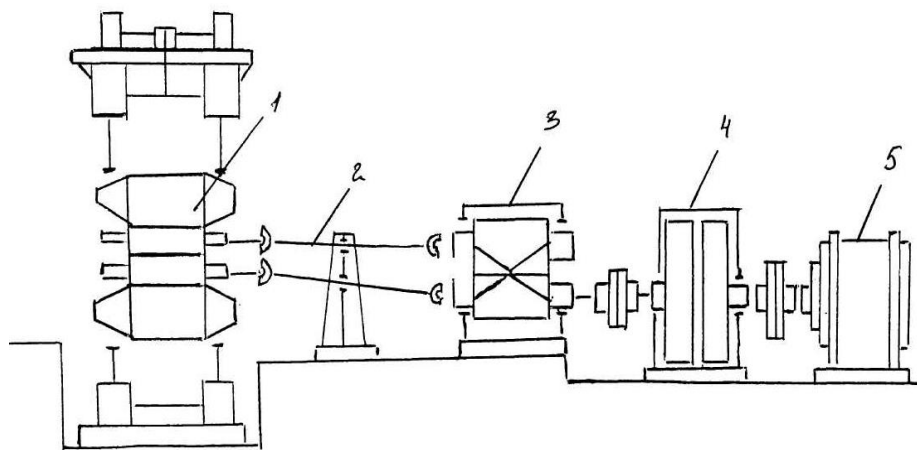


Рисунок 3.1. Схема головної лінії кліті: 1 – кліть; 2 – шпинделя;
3 – шестерінчаста кліть; 4 – редуктор; 5 – електродвигун.

3.2 Розрахунок на міцність шпинделів

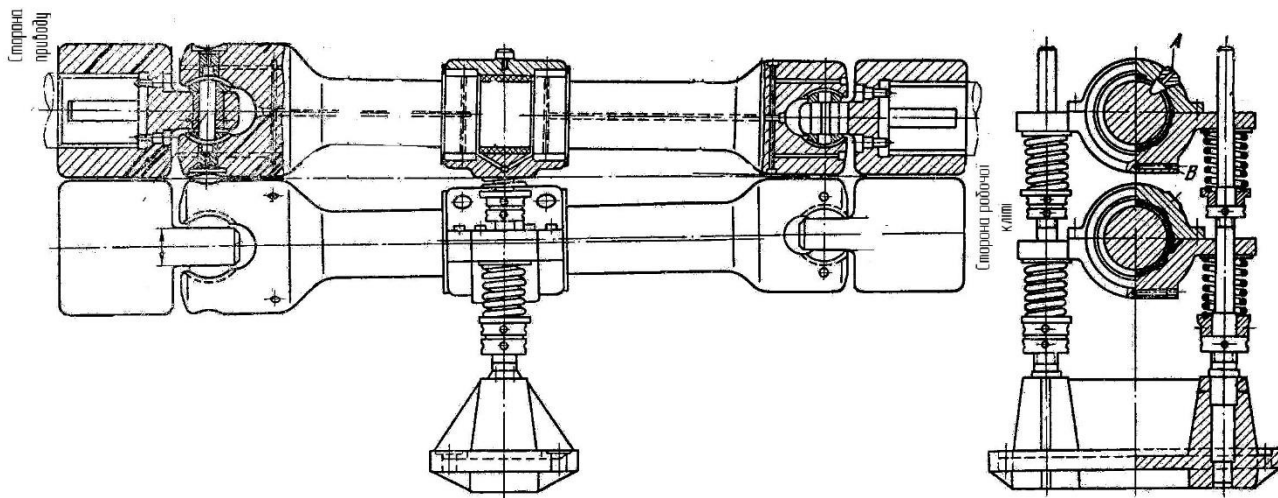


Рисунок. 3.2. Схема розташування універсальних шпинделів

Перетин $A'O$ відповідатиме AO :

$$e = 2 \cdot \sqrt{R^2 - r^2}, \quad (3.1)$$

$$f = \frac{e}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{c}{e}\right)^3}{1 - \left(\frac{c}{e}\right)^2}, \quad (3.2)$$

$$e = 2 \cdot \sqrt{230^2 - 105^2} = 0,41\text{м}(410\text{мм});$$

$$f = \frac{410}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{110}{410}\right)^3}{1 - \left(\frac{110}{410}\right)^2} = 0,143\text{м}(143\text{мм}).$$

Момент, що скручує одну шийку головки:

$$M = \frac{M_{кр}}{2}, \quad (3.3)$$

$$M = \frac{0,3}{2} = 0,15\text{МН} \cdot \text{м};$$

Зусилля, діюче на шийку головки:

$$P = \frac{M}{f}, \quad (3.4)$$

$$P = \frac{0,15}{0,143} = 1,05 \text{ МН}.$$

Замінюючи сегмент перетину $A O$ рівновеликою трапецією, одержимо:

$$e_1 = 190 \text{ мм}, \quad e_2 = 110 \text{ мм}, \quad h = 125 \text{ мм}, \quad \eta = 0,255$$

$$W_{кр} = \eta \cdot (e_1 + e_2) \cdot h^2, \quad (3.5)$$

$$W_{кр} = 0,255 \cdot (190 + 110) \cdot 0,125^2 = 0,0012 \text{ м}^3.$$

Напруга кручення в перетині $A O$:

$$\tau = \frac{M}{W_{кр}}, \quad (3.6)$$

$$\tau = \frac{0,15}{0,0012} = 125 \text{ МН / м}^2.$$

Напруга кручення в тілі шпинделя:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{0,2 \cdot d^3}, \quad (3.7)$$

$$\tau = \frac{0,3}{0,2 \cdot 0,27^3} = 76,2 \text{ МН / м}^2.$$

Кут закручування на довжині $L = 2500 \text{ мм}$:

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_p} \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (3.8)$$

$$\varphi = \frac{0,3 \cdot 2,5 \cdot 32}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,27^4} \cdot \frac{180}{3,14} = 1,03^\circ;$$

На 1м довжини шпинделя:

$$\varphi = \frac{1,03}{2,5} = 0,412^\circ \langle [\varphi] = 0,5^\circ$$

Таблиця 3.1 - Допустимі і робочі параметри деталей

Деталь	Що допускається	Розрахунковий
Вал опорний	Запас міцності[5]	Запас міцності [8,05]
Станина	Запас міцності [1,5]	Запас міцності [11,2]
Шпиндель	Кут закручування [0,5ε]	Кут закручування [0,412ε]

3.3 Розрахунок на міцність опорних і робочих валків

Розрахунок виконується щодо кліті №1 при: зусиллі прокатки $P = 14$ МН;
що максимальний крутить момент $M_{кр} = 0,3$ МН·м; різниця натягу, $T = 0,2$ МН;
розміри валів, 570/1700 /1100мм.

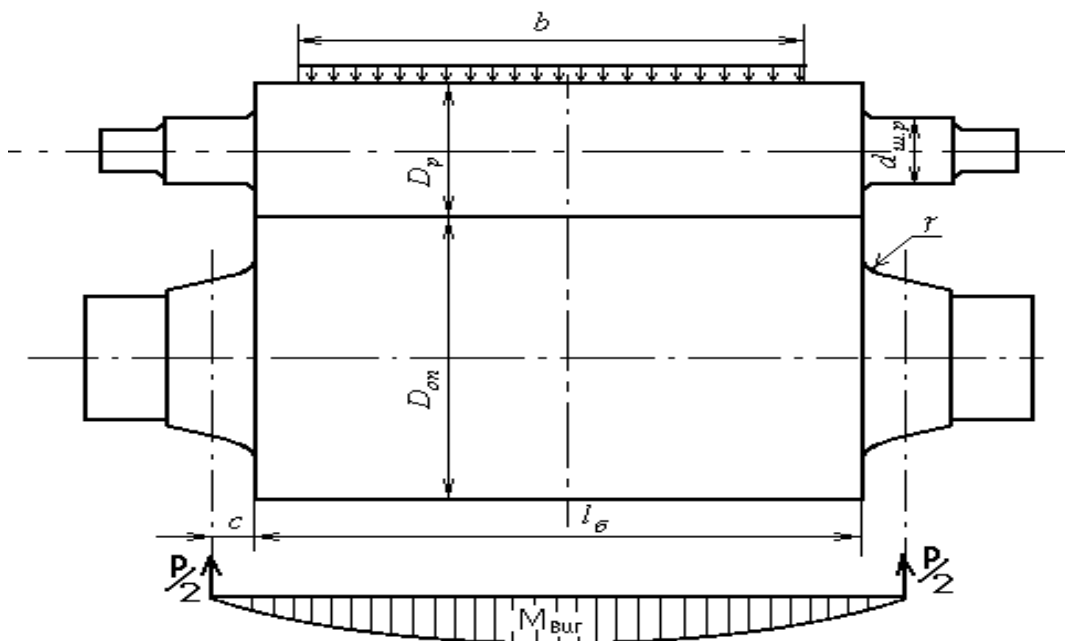


Рисунок 3.2 Розрахункова схема валків кліті

Визначаємо розподіл зусилля між робочим і опорним валками:

$$\left(\frac{D_{on}}{D_p}\right)^4 = \left(\frac{1170}{570}\right)^4 = 17.75; \quad (3.9)$$

$$P_p = \frac{P}{\left(1 + \left(\frac{D_{on}}{D_p}\right)^4\right)}, \quad (3.10)$$

$$P_p = \frac{13,5}{(1 + 17,75)} = 0,72 \text{ МН};$$

$$P_{on} = P - P_p, \quad (3.11)$$

$$P_{on} = 13,5 - 0,72 = 12,78 \text{ МН}.$$

Таким чином, робочі валки сприймають:

$$\frac{0,72}{13,5} = 0,053(53\%)$$

всього навантаження на валки.

Напруга у робочому валку при $a' = 2230\text{мм}$:

$$M_p = \frac{P_p \cdot a'}{8}, \quad (3.12)$$

$$M_p = \frac{0,72 \cdot 2,23}{8} = 0,2\text{МН} \cdot \text{м};$$

Максимальний згинаючий момент (для одного валу):

$$M_T = \frac{T \cdot (a' - v/2)}{8} \quad (3.14)$$

де v - ширина штаби $v = 1,0\text{м}$.

$$M_T = \frac{0,2}{8} \cdot \left(2,23 - \frac{1,0}{2} \right) = 0,04\text{МН} \cdot \text{м};$$

Результуючий згинаючий момент по середині бочки валку:

$$M_{\text{раб}} = \sqrt{M_p^2 + M_T^2}, \quad (3.15)$$

$$M_{\text{раб}} = \sqrt{0,2^2 + 0,04^2} = 0,204\text{МН} \cdot \text{м};$$

Максимальна напруга вигину по бочці валку:

$$\sigma = \frac{M_{\text{раб}}}{0,1 \cdot D_p^3}, \quad (3.16)$$

$$\sigma = \frac{0,204}{0,1 \cdot 0,57^3} = 11,02\text{МН} / \text{м}^2;$$

Напруга кручення на шийці валку:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \psi}{0,2 \cdot d_m^3}, \quad (3.17)$$

де $\psi = 2,1$ – коефіцієнт концентрації напруг;

d_u - діаметр шийки валу.

$$\tau = \frac{0,3 \cdot 2,1}{0,2 \cdot 0,395^3} = 51,11 \text{ МН} / \text{м}^2$$

Визначаємо напруги в опорному валку:

— максимальний згинаючий момент при $Q = 2,7 \text{ м}$

$$M_{on} = \frac{P_{on}}{4} \cdot \left(a - \frac{e}{2} \right), \quad (3.18)$$

$$M_{on} = \frac{12,78}{4} \cdot \left(2,7 - \frac{1,0}{2} \right) = 6,63 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

— напруга по середині бочки валку при вигині

$$\sigma = \frac{M_{on}}{0,1 \cdot D_{on}^3}, \quad (3.19)$$

— напруга в перетині $l-l$

$$\sigma = \frac{P/2 \cdot C}{0,1 \cdot d_m^3}, \quad (3.20)$$

$$\sigma = \frac{(12,78/2) \cdot 0,51}{0,1 \cdot 0,75^3} = 77,3 \text{ МН} / \text{м}^2.$$

Запас міцності в небезпечному перетині:

$$n = \frac{[\sigma_\phi]}{\sigma} = \frac{750}{93,1} = 8,05 \gg [n] = 5. \quad (3.21)$$

Контактні напруги:

— робочі валки з легованого чавуну

$$E_p = 1,1 \cdot 10^5 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2) \quad (3.22)$$

— опорні валки сталеві

$$E_{on} = 2,15 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2) \quad (3.23)$$

— приведений коефіцієнт

$$E_{np} = \frac{2 \cdot E_p \cdot E_{on}}{(E_p + E_{on})} \quad (3.24)$$

$$E_{np} = 1,4 \cdot 10^5 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2);$$

$$R_{np} = \frac{R_{on} \cdot R_p}{(R_{on} + R_p)} \quad (3.25)$$

$$R_{np} = \frac{0,585 \cdot 0,285}{(0,585 + 0,285)} = 0,192 \text{ м};$$

$$g = \frac{P_{on}}{\nu} \quad (3.26)$$

$$g = \frac{12,78}{1,0} = 12,78 \text{ МН} / \text{м} \quad \sigma_{конт} = 0,58 \sqrt{g \cdot \frac{E_{np}}{R_{np}}} \quad (3.27)$$

$$\sigma_{конт} = 0,58 \sqrt{12,78 \cdot \frac{1,4 \cdot 10^5}{0,192}} = 1583,6 \text{ МПа} (\text{МН} / \text{м}^2)$$

Визначаємо прогин опорного валка:

$$I_1 = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3.28)$$

$$I_1 = \frac{3,14 \cdot 1,17^4}{64} = 0,09 \text{ м}^4;$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right) = \left(\frac{D_{on}}{d_{uu}} \right)^4 \quad (3.29)$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right) = \left(\frac{1,17}{0,65} \right)^4 = 10,5 \quad \left(\frac{D_{on}}{d_{uu}} \right)^2 = \left(\frac{1,17}{0,65} \right)^2 = 3,24$$

$$E_p = 2,15 \cdot 10^5 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2);$$

$$G = 0,82 \cdot 10^5 \text{ МПа} (\text{МН} / \text{м}^2);$$

$$f_1 = \frac{P}{384EI_1} \cdot \left(8a^3 - 4a\epsilon^2 + \epsilon^3 + 64c^2 \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) \right) \quad (3.30)$$

$$f_2 = \frac{P}{\pi GD^2} \cdot \left(a - \frac{\epsilon}{2} + 2C \left(\frac{D_{on}^2}{d_u^2} - 1 \right) \right) \quad (3.31)$$

$$\Delta f = \frac{P \cdot \epsilon}{2\pi GD^2} \cdot \left(1 + \frac{\epsilon}{8D^2} \cdot (12a - 7\epsilon) \right) \quad (3.32)$$

$$f_1 = \frac{12,78}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot 0,09} (8 \cdot 2,7^3 - 4 \cdot 2,7 \cdot 1,0^2 + 1,0^3 + 64 \cdot 0,51^2 \cdot (10,5 - 1)) = 0,0005 \text{ м} (0,5 \text{ мм})$$

$$f_2 = \frac{12,78}{3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^5 \cdot 1,17^2} \cdot \left(2,7 - \frac{12,5}{2} + 2 \cdot 0,51 \cdot (3,24 - 1) \right) = 0,00016 \text{ м} (0,16 \text{ мм})$$

$$\Delta f = \frac{12,78 \cdot 1,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^5 \cdot 1,17^2} \cdot \left(1 + \frac{1,0}{8 \cdot 1,17^2} (12 \cdot 2,7 - 7 \cdot 1,0) \right) = 0,00013 \text{ м} (0,13 \text{ мм})$$

;

Сумарний прогин валків:

$$\Sigma f = f_1 + f_2 \quad (3.33)$$

$$\Sigma f = 0,5 + 0,16 = 0,66 \text{ мм.}$$

Пружне сплющення валків:

$$\sigma_\kappa = \left(\frac{1,3g}{E_{np}} \right) \cdot \lg \left(1,65 (D_{on} + D_p) \frac{E_{np}}{g} \right) \quad (3.34)$$

$$\sigma_\kappa = \frac{1,3 \cdot 10,224}{1,4 \cdot 10^5} \cdot \lg \left(1,65 \cdot (1,17 + 0,57) \cdot \frac{1,4 \cdot 10^5}{10,224} \right) = 0,44 \text{ мм}$$

$$\Sigma \sigma = 2\sigma = 2 \cdot 0,44 = 0,88 \text{ мм} \quad (3.35)$$

3.4 Висновки до розділу

Розрахунки на міцність валків показують, що розрахункові режими обтисків дозволяють експлуатувати вищеназвані механізми без перевантажень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників на ділянці цеху гарячої прокатки тонкого листа

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

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

На виробництві застосовують наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці: захисні пристрої, що створюють перешкоду між людиною і небезпечним чинником, надійно оберігають працівника незалежно від правильності або не правильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів – відключення устаткування при порушенні контрольованого параметра (температури, тиску, переміщення, величини струму або напруги, зусилля); гальмівні пристрої для швидкої зупинки рухомих частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою або такою, що наступила небезпекою (світлова, звукова, кольорова і знакова). Велике значення має правильний розподіл функції між людиною і машиною для зменшення тяжкості праці [17].

Аналіз потенційних, небезпечних і шкідливих виробничих чинників виробничого середовища на безперервному тонколистовому стані 1680, приведений в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз потенційних, небезпечних і шкідливих виробничих чинників [17]

Вид технологічних операцій	Устаткування	Небезпечні і шкідливі чинники	Можливі дії на людину
Прокатка металу	Стан 1680	Шум 105 дБА	Швидке стомлення, глухота.
		Валки, що обертаються, рольганги, привод.	Травмування персоналу, що обслуговує при непередбачливому контакті.
		Небезпечний рівень струму ($I=30A$) і напруги ($U=380V$). Інфракрасне випромінювання гарячого металу. Пил із вмістом хромового ангідриду $0,11\text{мг/м}^3$ (ГДК = $0,01\text{мг/м}^3$), пил фібро генної дії $8,5\text{мг/м}^3$ (ГДК = $4,0\text{мг/м}^3$). 3 клас безпеки	Поразка електрострумом при дотику до струмопровідних частин. Погіршує зір. Негативна дія на легені, можливі захворювання органів дихання.
Транспортування металу	Мостові електрокрани	Рухомі механізми, метал, що транспортується	Механічні пошкодження, ожогові травми.
Допоміжні операції	Гідрообладнання, маслопідвали і ін.	Горючі речовини (водень, оксид вуглецю, природний, доменний газ, мазут, толуол, масла, деревина, гума і ін.), пари емульсії	Пожежонебезпека

Мікроклімат визначається наявністю надмірного конвекційного і променистого тепла. Джерелами тепла є: прокатуваний метал, нагріте устаткування, механізми і комунікації, відкриті отвори або кришки нагрівальних пристроїв, горючі газ.

При обробці гарячого прокату робочим доводиться працювати в безпосередній близькості від гарячого металу. Наявність великих тепло надлишків в одному цеху обумовлює значне підвищення в ньому температур повітря, особливо в літню пору року.

На робочих місцях операторів чистової групи температура повітря досягає 35 – 40 °С. Висока температура повітря або опромінювання тіла, утрудняє віддачу тепла, приводять до накопичення його в організмі, до перегріву [18]. При цьому різко посилюється робота серця, частішає дихання,

збільшується потіння і відбувається втрата необхідних солей. Простудні захворювання працівників стану значно частіші, ніж інших.

Оцінка шкідливих чинників виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка чинників виробничого середовища трудового процесу

Фактори виробничого середовища та процесу праці	Норм, зн. ПДК, ПДУ)	Фактич. знач.	III клас - шкідливі та небезпечні умови і характер праці			Час дії фактору %, за зміну
			I ст.	II ст.	III ст.	
Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ :						
I клас шкідливості						
Ангідрид хромовий.....	0,01	0,062			6,2	90
Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
II клас шкідливості.....						
Акролеїн.....	0,2	0,66		3,3		90
Сіководень	10	3,87				90
III клас шкідливості						
Ангідрид сірчаний.....	10	16,83	1,68			90
Вуглець оксид.....	20	25	1,25			90
Масла мінеральні	5	6,78	1,4			90
Пил переважно фіброгенної дії мг/м ³	4	26,3			6,58	90
Шум, дБА	80	105			25	100
Мікроклімат в приміщенні:						
- температура повітря, °С	27	35		5,1		100
- швидкість руху повітря, м/с	0,5	2,1		4,17		100
- відносна волога повітря, %		0,12				
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	411		411		83

Висновок: Проаналізувавши небезпечні чинники, визначено 3 чинника I ст., 4 чинника II ст., 4 чинника III ст. Категорія тяжкості праці - важка Категорія напруженості праці - дуже напружена.

За даними Київського інституту гігієни праці і профзахворювань, продуктивність праці на робочих місцях, що піддаються тепловому опромінюванню знижується на 10 - 12%.

На стані велику небезпеку представляє електричний струм.

Дія шуму на операторів стану групи з великим значенням 105 дБА викликає стомлення слухового органу і приводить до глухоти, обумовленим невритом слухових нервів [19]. Шум на даній ділянці є причиною швидкого стомлення операторів, вальцівників і ін., що призводить до зниження продуктивності праці і збільшення браку.

Звуковий подразник впливає не тільки на органи слуху, але і на органи зору, на функціональний стан вестибулярного аналізатора, на вищу і вегетативну нервову діяльність працівників даної ділянки.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці на ділянці ШСГП 1680

Систематично проводиться вивчення рівня безпеки устаткування, технологічних та трудових процесів, розробляються і упродовжуються технічні та організаційні заходи, що забезпечують безпеку праці. Працівникам стану проводяться у встановлені терміни відповідні інструктажі по охороні праці: вступний, первинний, повторний, позаплановий, цільовий.

Заходи захисту від дії небезпечних і шкідливих чинників представлені в таблиці 4.3.

Мікроклімат в цеху локалізувати практично в цілому неможливо, але безпосередньо нормалізація мікроклімату на робочих місцях (пости управління станом, робочі зони і т.п.) можна провести установкою вентиляторів, кондиціонерів і інших пристроїв в приміщеннях операторів чистової групи [20].

Таблиця 4.3 – Заходи захисту від дії небезпечних і шкідливих чинників

Небезпечний або шкідливий чинник	Захисний пристрій	Принцип призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки	Звукопоглинання і віддзеркаленні, ізоляція органів слуху	Біля джерела шуму, в приміщенні операторів
Теплові виділення	Витяжна вентиляція	Примусове механічне відсмоктування пари, що утворилася	Над станом
Рухомі частини механізмів	Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від дотику з рухомими частинами і механізмами	У електросхемах приводів, навколо устаткування.
Інфрачервоне випромінювання гарячого металу	Світлові екрани (фільтри)	Захист органів зору	На постах чистової групи
Пил	Вологе прибирання пилеулавлювачів	Захист органів дихання	На стані

Освітлення є одним з проблематичних питань, і зв'язано це з тим, що пил зменшує видимість і приводить до забруднення світлових ліхтарів цеху.

Для вирівнювання коефіцієнта освітленості застосовується примусове направлене освітлення шляхом установки на робочих місцях (у приміщеннях операторів чистової групи) прожекторів, які стабілізують освітленість і зменшують зорову напруженість працівників ділянки стану. Освітлення в цеху є основною вимогою і освітлення проводиться за допомогою дросельних (люмінесцентних) ламп.

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

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

$$\begin{aligned}
 KEO_{\text{in}}^4 &= KEO_{\text{in}}^3 \cdot m \cdot e; \\
 KEO_{\text{in}}^4 &= 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%;
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

де KPO_{in}^3 – значення КПО для 3 пояси світлового клімату; m – коефіцієнт світлового клімату; e – коефіцієнт сонячності клімату.

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

Засоби індивідуального захисту призначені, для захисту робочих цеху гарячої прокатки тонкого листа від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників, вогню і бризок розплавленого металу, падаючих предметів, забрудненого отруйними парами, газами і пилом повітря, електричного струму т.д. До засобів індивідуального захисту відносяться: спецодяг, спецвзуття, засоби захисту рук, органів дихання, очей і голови. Засоби індивідуального захисту повинні відповідати захисним, фізіолого-гігієнічним і експлуатаційним вимогам: бути нешкідливими, зручними і надійними в роботі, забезпечувати повітропроникність; легко очищатися від забруднень; зберігати свої захисні властивості після чищення.

Забезпечення робочих і службовців цеху засобами індивідуального захисту проводиться відповідно до «Типових галузевих норм» видачі спецодягу, спецвзутті і інших засобів індивідуального захисту і інструкцією про порядок, видачу, зберігання і користування спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями.

Спецодяг робочих стану повинен мати вогнезахисне просочення, щоб запобігти травмуванню іскрами гарячого металу і шлаку, і оберегти від опіку. У місцях (працюючи безпосередньо у 10-й кліті стану) вальцівники застосовують пилозахисний комбінезон з щільної бавовняної тканини.

Спецвзуття призначена для захисту ніг від ударів при падінні інструменту і деталей під час роботи і обертання їх від попадання іскри і бризок розплавленого металу, несприятливих метеорологічних умов зовнішнього середовища. Основними видами спецвзутті на стані є: черевики шкіряні, чоботи гумові, чоботи кирзові.

Для попередження попадання пилу і шкідливих хімічних речовин в організм операторів чистової групи необхідно користуватися засобами захисту органів дихання – респіраторами.

Для захисту органів зору від механічних травм, хімічних і термічного опіку і пошкоджень променистою енергією робочі стану користуються запобіжними окулярами або щитками.

Механічних травм очей завдаються частинками окалини, осколками металу. Для захисту очей працівників стану застосовують окуляри захисні відкритого і закритого типів.

Для захисту працівників стану від різкої або тривалої дії шуму застосовують проти шуми: навушники, шоломи, заглушки, що забезпечують ослаблення шуму до рівня, що не перевищує допустимий. Застосування засобів захисту слуху перешкоджає розвитку професійної глухоти.

На роботах, пов'язаних з небезпекою травмування голови (механічні пошкодження, поразки електричним струмом), як захисний засіб всі працівники стану застосовують захисні каски з пластмаси [20].

Електробезпека

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

Електробезпека - це комплекс заходів, направлених на запобігання поразки 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. Вірогідність літального результату при поразенні електричним струмом велика. Великий вплив чинить зовнішнє середовище [20].

У гарячих цехах тяжкість поразки збільшується, оскільки, спостерігається середовище з підвищеною температурою, що веде до перегріву організму і зниження його опору. Пониження атмосферного тиску збільшує небезпека дії електричного струму [21].

Стан навколишнього середовища, а також навколишнє середовище можуть підсилювати або ослаблювати небезпеку поразки струмом. Так, струмопровідний пил, що утворюється в цеху, руйнівна дія на ізоляцію електроустановок, різко знижуючи її опір і створюючи загрозу переходу напруги на корпуси, станини, і тому не подібні струмопровідні металеві частини електроустаткування, до яких може торкатися людина.

Становий проліт у відповідності вимогами ПУЕ СНП 111-33-76 відносяться до зони класу В-16- це зони, розташовані в приміщеннях, в яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пари ЛВЖ з повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій або несправності.

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушенні ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах.

Нещасні випадки можливі також при дії електричного струму через дугу; безпосередньому зіткненні з відкритими струмопровідними частинами і приводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або дія при помилковій подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, що випадково опинилися під напругою; при дії крокової напруги і ін.

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні заходи захисту від поразки електричним струмом:

- а) захист від дотику до струмопровідних частин;
- б) захист від дотику до устаткування, що випадково опинилося під напругою;
- в) захист від струмів надмірної сили.

У першому випадку, найбільш поширеному, конструктивному простою і дуже ефективним заходом 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 поразки людини, що доторкнулася до них.

Приєднання корпусів та інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового дроту називається захисним зануленням. Мета 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 устаткування від мережі.

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 струмопровідних частин, що знаходяться під напругою. До додаткових відносяться засоби захисту, що підсилюють дії основних засобів і що забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До індивідуальних засобів відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки і ін.

Основою організації безпечної експлуатації електроустановок є висока дисципліна обслуговуючого персоналу. Персонал, що обслуговує електроустановки, не повинен мати каліцтв або хвороби, що заважають виробничій роботі і що підсилюють небезпеку дії струму на організм.

В процесі роботи увесь виробничий персонал в обов'язковому порядку повинен проходити систематичне виробниче навчання перевірку знань "Правил і виробничих інструкцій".

Цех гарячої прокатки тонкого листа відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі чинники виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32 °С), запилення повітря струмопровідним пилом. Враховуючи, вищевикладене проводимо вибір мережі.

Схема мережі, по технологічним вимогам і за умовами безпеки найоптимальнішою є чотири провідна мережа з глухо-заземленою нейтралі, оскільки вона дозволяє використовувати дві робочі напруги - лінійну і фазну. Від чотирьох приводної мережі 380 В можна жити як силове навантаження - трифазну або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, струм і освітлення, включаючи її між фазним і нульовим дротами, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів, меншого перетину проводів і т. ін. [20].

Пожежна та техногенна безпека

Пожежі і вибухи відбуваються унаслідок наступних основних причин:

- 1) порушення нормального режиму технологічного процесу;
- 2) неполадки в роботі для очищення, транспортування і споживання газу;
- 3) неправильній експлуатації електромереж і електроустаткування;
- 4) порушення елементарних вимог пожежної охорони.

У цеху на стані має велике місце наявність пожежонебезпечних чинників, пов'язаних із застосуванням: газів 4 групи при опалюванні печей, різанні металу переносними газо ріжучими пристроями; гідравлічних рідин та змащення.

Пожежна безпека на стані забезпечується системою пожежного захисту і заходами організаційного характеру.

До основних умов попередження пожежі відносяться запобігання утворенню горючого середовища і появи джерел запалення.

Для зниження пожежної безпеки в цеху необхідно: обмеження кількості матеріалів, що зберігаються, здатних горіти; створення припонів для розповсюдження пожежі; попередження можливості руйнування виробничих пристроїв; своєчасне виявлення і гасіння пожежі, забезпечення умов для евакуації робочих і устаткування при пожежі; застосування ефективних

засобів пожежогасіння (пожежні автомобілі, стаціонарні установки виявлення і гасіння пожеж, різні вогнегасники і інше пожежне устаткування, призначене для подачі вогнегасних засобів до місця пожежі), застосування засобів сигналізації і зв'язку, і організації пожежної охорони.

До організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки відносяться: пожежна охорона об'єкту, розробки і здійснення правил і норм пожежної безпеки, правил дотримання протипожежного режиму і встановлених заходів щодо ліквідації виниклої пожежі. Всім працівникам цеху у встановлені терміни проводять відповідні протипожежні інструктажі: вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий.

Пожежна і вибухова небезпека в цеху визначається наступними чинниками: наявністю широко розвинутої мережі кабельного господарства, в якому всі кабелі пальні. З кабелями безпосередньо пов'язана велика кількість різного електротехнічного устаткування.

До найбільш вірогідних причин перегріву проводів відносяться нагрівання проводів при проходженні струму надмірно великої величини і при виникненні великих місцевих опорів унаслідок неправильного пристрою електроустановок.

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

Електрична дуга, що має температуру вище 3000°C , представляє велику пожарну небезпеку на стані. Тому конструкція та режим експлуатації повинні виключати утворення електричної дуги. У цих випадках застосовують додаткові пружинячі ножі для рубильників і дугогасні пристрої.

Прокатний цех відносяться до категорії Г пожежонебезпеки (ГОСТ 12.1004-81), оскільки в ньому обробляють негорючі речовини (метал), але є і горючі речовини. По вогнестійкості прокатний цех відносять до 1 і 2 ступеням. Стіни будівель зроблені з матеріалу, що не згорає.

Для гасіння пожеж в прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: воду, пісок, інертний газ, хімічну і легко-механічні піни.

На стані прокатного цеху встановлені пожежні щити на яких розташовані засоби для гасіння пожеж: вогнегасники хімічні і пінні ВХП-10, ВВП-5, ВВП-10, пісок, лопати і ін. У цеху також є протипожежні рукави водяного гасіння пожеж.

Водяні пари застосовуються на стані для гасіння пожеж в маслосховищах [21].

Блискавкозахисті пристрої [20] повинні виконуватися при будівництві або реконструкції будівлі або споруди відповідно до проекту і комплексного графіка виробництва будівельно-монтажних робіт і одночасно з виконанням основних робіт.

При зведенні в грозовий період високих будівель і споруд рекомендується передбачати, починаючи з висоти 20 м і вище, тимчасові блискавкозахисті пристрої, що забезпечують безпеку людей і збереження споруд.

Будівлі і споруди, віднесені по пристрою блискавкозахисту до III категорії, повинні бути захищені від прямих ударів блискавки і занесення високих потенціалів через наземні металеві комунікації.

При ширині будівель і споруд більше 100 м повинні виконуватися заходи щодо вирівнювання потенціалу усередині будівлі.

Зовнішні установки, віднесені по пристрою блискавкозахисту до III категорії, повинні бути захищені від прямих ударів блискавки.

Для будівель і споруд, що суміщають в собі приміщення, що вимагають пристрою блискавкозахисту I і II або I і III категорій, рекомендується блискавкозахисту всієї будівлі або споруди виконувати, відповідно до вимог для I категорії.

Коли площа приміщень, що вимагають захисту по I категорії, складає в одноповерхових будівлях менше 30 % всій площі будівлі, а в багатоповерхових будівлях - менше 30 % площі приміщень верхнього поверху,

блискавкозахист всієї будівлі може бути виконана по II категорії незалежно від категорії решти приміщень. При цьому всі підземні і наземні внутрішньо цехові комунікації повинні бути уведені в приміщення I категорії приєднані до спеціального заземлювача, розташованому за межами цих приміщень і такому, що має опір розтіканню струму промислової частоти не більше 10 Ом.

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

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

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

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

Фізичне зношування, механічне ушкодження, руйнування або температурна деформація устаткування й трубопроводів може привести як до часткового, так і до повного руйнування технологічного устаткування і трубопроводів. Причини аварій, пов'язані з помилками персоналу.

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

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

Аналіз матеріалів розслідування аварій показує, що 66,5 % вибухів, пожеж і загорянь відбувається в результаті помилок при експлуатації устаткування, з них 20 % аварій - через недотримання норм технологічного регламенту. Причини, пов'язані із зовнішніми впливами природного й техногенного характеру.

До зовнішніх впливів природного й техногенного характеру можна віднести:

- дуже сильний мороз ($- 30^{\circ}\text{C}$ и нижче);
- дуже сильна жара ($+ 40^{\circ}\text{C}$ и більш);
- зсувні явища, осідання (провал) земної поверхні;
- сильний вітер, включаючи шквали й смерчі;
- грозові розряди й розряди статичної електрики;
- влучення устаткування в зону дії вражаючих факторів аварій, що виникли на сусідніх об'єктах;
- аварії на комунально-енергетичних мережах;
- навмисні дії (диверсія) [19].

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши вплив факторів прокатки (температура, швидкість, сила, тертя) на режим деформації штаби було визначено оптимальні ступені обтисків у кожній кліті для отримання штаби заданої товщини. Встановлено, що за рахунок збільшення і вирівнювання більшою мірою температури задніх кінців штаби знижуються відходи в обрізь.

Розраховані оптимальні режими обтискень для профілю, товщиною 1,8 мм і енергосилові параметри прокатки даних штаб.

Розрахунки показали, що при прокатці за новою технологією знижуються енергосилові параметри (сила прокатки, крутний момент і потужність прокатки) і за рахунок цього енерговитрати на 1т. прокату знизилися на 8,1% в порівнянні з базовим варіантом.

Виконані розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей стану - робочих і опорних валків. Розрахунки на міцність валків показують, що запропоновані режими обтисків дозволяють експлуатувати вищеназвані механізми без перевантажень, вузли мають достатній запас міцності і мінімальні деформації.

Запропоновано заходи щодо зниження впливу шкідливих і небезпечних факторів виробничого процесу, а також рішення по захисту навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сафьян, М.М. Прокатка широкополосной стали / М.М. Сафьян.- М.: Металлургия, 1969, с. 168 - 173.
2. Николаев, В.А. Горячая прокатка листов и полос / Учебное пособие. Часть 1. По дисциплине «Производство горячекатаных полос» - Запорожье: ЗГИА, 2014. – 176 с.
3. Николаев, В.А. Технология прокатки листов и полос: Учебное пособие. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
4. Николаев, В. А. Прогиб валкового комплекта при различных зазорах в подшипниках / В.А. Николаев, А.Г. Васильев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 7. – С. 23–25.
5. Николаев, В. А. Прогиб опорного валка четырехвалковой клетки с учетом опорного момента / В. А. Николаев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 9. – С. 18–19.
6. Королев, А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов пяти прокатных станов / А.А. Королев. - М.: Металлургия, 1969. – 183 с.
7. Николаев, В. А. Повышение стойкости шеек опорных валков стана 1680 / В.А. Николаев, А.Ю. Путноки, В.Т. Тилик и др. // Сталь. – 2002. – № 5. – С. 37–39.
8. Пат. України на корисну модель № 69571, В21В 27/00. Комплект подушек валків листопрокатної кліті / Ніколаєв В.О., Ніколенко А.Г., Мацко С.В., Васильєв А.О., Васильєв О.Г. – № u201105780; заявл. 10.05.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
9. Коновалов, Ю.В. Повышение точности листового проката и экономия металла / Ю.В. Коновалов, Г.И. Налча. - М.: Металлургия, 1977. - 28с.
10. Железнов, Ю.Д. Прокатка ровных полос и листов / Ю.Д. Железнов. - М.: Металлургия, 1971. - 200 с.

11. Полухин, П.И. Прокатное производство / Полухин П.И., Федосов Н.М. и др. - М: Metallurgy, 1982. - 696 с.
12. Королев, А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А.А. Королев. - М. Metallurgy, 1985. - 376 с.
13. Полухин, П.И. Тонколистовая прокатка и служба валков / П.И. Полухин,. - М.: Metallurgy, 1967.
14. Прищип, М.Г. Методичні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів для студентів ЗДІА «Обладнання цехів ОМТ» / М.Г. Прищип. – Запоріжжя: ЗДІА, 2014 – 76с.
15. Королев, А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А.А. Королев. – М.: Metallurgy, 1969. - 464 с.
16. Ніколаєв, В.О. Технологія виробництва сортового та листового прокату [Текст]. Ч.1: підручник для вчз: [доп. МОН України] / В.О. Ніколаєв, В.Л. Мазур; ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2000. - 256 с.
17. Панасейко, С.С. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей / С.С. Панасейко, В.К. Тарасов. - Запорожье: ЗГИА, 1997 - 31 с.
18. ГОСТ12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. - М., 1984.
19. Бринза, В.Н. Охрана труда в черной металлургии / В.Н. Бринза, М.М. Зиньковский. - М.: Metallurgy, 1982 - 333 с.
20. Кобевник, В.Ф. Охрана труда / В.Ф. Кобевник. - К.: "Вища школа", 1990.
21. Злобинский, Б.М. Охрана труда в металлургии / Б.М. Злобинский. 2-е издание. - М.: Metallurgy, 1975. - 536 с.