

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

До комісії
17.05.2023р.

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

на тему Розробка режиму прокатки штаби розмірами 2,5×1000 мм зі сталі 08Ю на напівнеперервному стані гарячої прокатки 1680

Виконав: студент 5 курсу, групи 6.1369-з-с

Чудніцов Денис Романович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія

(шифр і назва)

Керівник Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 29 ” 12 2022 року

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

Чудніцов Денис Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта) Розробка режиму прокатки штаби розмірами 2,5×1000 мм зі сталі 08Ю на напівнеперервному стані гарячої прокатки 1680

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.12.2022 року №1894-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 19.05.2023

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) Визначення режиму прокатки штаба 2,5×1000 мм, сталь – 08Ю, сляб – 200×980мм, стан – НШСГП 1680

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 слайдах (на сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Загальна частина	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Технологічна частина	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Механічна частина	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Охорона праці та техногенна безпека	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 03.01.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	15.05-21.05.23	
2	Реферат	15.05-21.05.23	
3	Загальна частина	20.03-26.03.23	
4	Технологічна частина	27.03-09.04.23	
4	Механічна частина	10.04-16.04.23	
5	Охорона праці та техногенна безпека	17.04-23.04.23	
6	Висновки	04.06.2023	

Студент

(підпис)

Д.Р. Чудніцов

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Ю.О. Белоконь

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 94 с., 17 рис., 13 табл., 21 джерела.

ШТАБА, ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПІДКАТ, ДЕФОРМАЦІЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, СТАН, ПОТУЖНІСТЬ, ЗУСИЛЛЯ ПРОКАТКИ, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки 1680, технологія виробництва тонкої штаби; розрахунок енергосилових параметрів прокатки на безперервному стані 1680.

Мета роботи – проект реконструкції ділянки змотування стану гарячої прокатки 1680 ПАТ “Запоріжсталь”.

Метод дослідження – аналітичний, дано обґрунтування методики розрахунку режимів обтиску і енергосилових параметрів, по емпіричним формулам та використанням відомих з досвіду листопрокатного виробництва даним.

Представлені дані у режимах обтиску і енергосилових параметрів при прокатці штаби 2,5 мм і сталі 08Ю на безперервному тонкоштабовому стані гарячої прокатки 1680. Приведені дані свідчать о можливості реалізації запропонованих режимів прокатки.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Загальна частина.....	8
1.1 Характеристика цеху та обладнання для виробництва гарячекатаних штаб.....	8
1.2 Аналіз «вузьких місць» та заходи щодо реконструкції.....	16
2 Технологічна частина	32
2.1 Розрахунок режимів обтисків	32
2.2 Розрахунок енерго – силових параметрів.....	42
2.3 Розрахунок продуктивності стана.....	64
3 Механічна частина.....	66
3.1 Розрахунок валків на міцність.....	66
3.2 Розрахунок на міцність валу барабана змотувача	71
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	75
4.1 Ступінь безпеки процесу гарячої прокатки штаби, рівня його механізації та автоматизації.....	75
4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	76
4.3 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів	79
4.4 Технічні рішення по виробничій санітарії.....	80
4.5 Заходи щодо пожежної безпеки	86
4.6 Заходи щодо захисту навколишнього середовища	87
4.7 Інженерна розробка медичного захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	88
Висновки	91
Перелік джерел посилання	93

ВСТУП

Чорна металургія є базовою галуззю України. Не дивлячись на створення нових матеріалів, чорні метали залишаються основним конструкційним матеріалом. На частку чорних металів доводиться 60% всіх конструкційних матеріалів.

У цей час близько 75% продукції чорної металургії йде на експорт, але прогнозується зріст продукції машинобудування України, що дозволить збільшити внутрішній ринок споживачів чорних металів. На підставі даної програми розроблена програма розвитку підприємств чорної металургії. Впровадження технології піч-ковш, встановлення машин безперервного розливання сталі.

Одним з металургійних гігантів України є ВАТ «Запоріжсталь». Комбінат «Запоріжсталь» є металургійним підприємством з повним циклом переділу, починаючи від виробництва агломерату й закінчуючи виробництвом різних видів готової продукції.

Металургійний комбінат «Запоріжсталь» розташований на лівому березі Дніпра в декількох кілометрах вище за течією від греблі Дніпрогесу.

Майже одночасно зі спорудженням Дніпровської гідроелектростанції в Запоріжжі почалося будівництво великого промислового комплексу чорної й кольорової металургії.

Металургійний завод почав діяти 16 листопада 1933 р., коли на доменній печі №1 була видана перша плавка чавуну. Цей день відзначався як день народження «Запоріжсталі».

У прокатному виробництві вперше в нашій країні був введений у роботу стан слябінг, а також перший у Європі безперервний стан «1680» гарячої прокатки тонколистової сталі в листах і рулонах товщиною від 2 до 6 мм.

Тонколистовий стан зданий в експлуатацію 1 травня 1938 р.

Безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки «1680» виробничою потужністю 3,0 млн. тонн у рік робить смуги товщиною 2,0-7,0 мм, шириною 1000-1500 мм, масою рулону - до 16,0 тонн.

Цех оснащений агрегатами для забезпечення поставки прокату у листах до 5850 мм та рулонах із внутрішнім діаметром 750 мм. Товщина гарячекатаного листа визначається споживачем у межах від 2,0 до 6,0 мм.

Сьогодні металургійний комбінат «Запоріжсталь» є одним з основних постачальників якісної листової продукції й високоефективних гнутих профілів для потреб вітчизняного машинобудування, поставляє жерсть гарячого лудіння для харчової промисловості.

Також на сьогоднішній день розроблена програма розвитку горно – металургійного комплексу України, яка направлена на технічне переозброєння галузі, реконструкцію та модернізацію обладнання, введення нової техніки та технології, а також більш продуктивних станів прокатного виробництва.

На комбінаті «Запоріжсталь» також розроблена програма технічного переозброєння. За останні 5 років «Запоріжсталь» витратив на технічне переозброєння 1399 млн. грн. Основними етапами програми модернізації до 2012 р. стане будівництво конверторного цеху, реконструкція системи охолодження валків та гідрозмиву, реконструкція цеху холодної прокатки.

У 2006 році був встановлений воздухороздільний блок виробництва *Air Liquide* . Блок призначений для забезпечення киснем доменного та мартенівського цехів, а після встановлення конверторного цеху і для його потребностей. Блок дозволить зменшити витрати електроенергії на 30%, води – в 6 разів, а прямий економічний ефект буде складати 27 млн. грн.. за рік.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика цеху та обладнання для виробництва гарячекатаних штаб

Цех гарячої прокатки тонкого листа призначений для виробництва товарних і передільних рулонів і листів.

В даний час на безперервному тонколистовому стані 1680 прокатують штабу одинарної до 8 тонн і подвійної до 16 тонн маси. Основна маса металу прокатується транзитом. Приблизно 7-10 % металу прокатується після нагріву в методичних печах. Сляби подвійної маси прокатуються лише транзитом.

До складу цеху входять: ділянка методичних нагрівальних печей; безперервний широкоштабовий стан 1680; ділянка підготовки валків; відділення листообробки, що включає декілька агрегатів для різання рулонів на листи та відділення гнутих профілів.

Для нагріву слябів використовуються чотирьохзонні дворядні методичні рекуперативні печі з торцевою посадкою і видачею. Методичні печі опалюються сумішшю коксо-доменного і природного газів. Посадка слябів в печі виробляється поплавці з відділенням слябів різних плавок і розмірів спеціальними прокладками. Сляби ставлять як в гарячому, так і в холодному стані, за винятком окремих марок низьколегованих сталей, а також всіх високолегованих і неіржавіючих сталей, які ставлять в печі лише в холодному стані.

Стан гарячої прокатки тонкого листа 1680 складається з двох груп клітей - чорнової і чистової і обслуговуючої їх устаткування.

До складу чорнової групи входять: чорновий окалиноламач, чотири робочі кліті «Кварта» і три вертикальні кліті, які встановлені перед клітями 2,3,4.

До складу чистової групи входять: чистовий окалиноламач, шість робочих клітей кварто, а також летучі ножиці 28x1550 мм для обрізання переднього кінця штаби і заднього кінців підкату.

Хвостова частина стану складається з наступного устаткування: змотувачі (6 шт.), транспортуючих рольгангов і конвеєрів, душируючого пристрою, 2х підймальний - поворотних столів.

Підготовка валків до прокатки виробляється на спеціальній ділянці, що включає 4 верстати для обдирання поверхні, огляду і ревізії подушок, а також стелажів для розбирання і збірки валків.

До складу термо - травильного відділення входять: гартувальна піч, травильна установка й обладнання для наступної обробки металу після його травлення, гартування. Агрегати термообробки й травлення використовуються переважно для обробки нержавіючої сталі.

Відділення листообробки включає два агрегати поперечного різання, два агрегати подовжнього різання, травильний агрегат і інше допоміжне устаткування.

Агрегати поперечного різання призначені для різання гарячекатаних штаб в рулонах на листи завдовжки 1500-6000 мм.

Агрегати подовжнього різання призначені для здобуття з рулонів шириною 1000-1500 мм товарних рулонів шириною 40-500 мм, а також для здобуття заготовки для відділення гнутих профілів, а також пакувальної стрічки.

Відділення гнутих профілів має у своєму составі 3 профілегибових агрегати: профілегибовий агрегат 1 – 4, профілегибовий агрегат безкінечного гнуття 1 – 4А та профілегибовий агрегат 2 – 7. На цих агрегатах виготовляється близько 800 профілерозмірів продукції з вуглецевої, низьколегованої й нержавіючої сталі з товщиною листа від 2 до 7 мм та шириною розгортання профілю до 1540мм.

Технічна характеристика обладнання стану

Для нагрівання слябів перед прокаткою використовуються рекуперативні чотирьохзонні методичні печі з двостороннім нагрівом слябів з торцевим завданням і видачею слябів.

Загальна довжина печі складає 31540 мм, ширина 5200 мм. По зонах методичних печей: довжина методичної зони 5200 мм, довжина першої зварювальної зони 9200 мм, довжина другої зварювальної зони 7800 мм, довжина томільної зони 8900 мм.

У методичних печах повітря необхідне для горіння, підігрівають в блоковому керамічному рекуператорі з об'ємом до 330 м³, в ньому повітря нагрівається до температури 500-600°C при постійній роботі печей без переривання стану на транзитну прокатку. Якщо на стані застосовується технологія транзитної прокатки, то повітря підігрівають до температури 190-240°C. Тиск в робочому просторі печі регулюється димовим шибером поворотного типу, який встановлений в боріві за кожною методичною піччю.

Завантажують і переміщують сляби в методичній печі двома штовхачами. Штовхачі рейкового типу, максимальне зусилля кожного штовхача 80 т, швидкість штовхання слябів 0,25 м/с, з ходом штанги штовхача 3 м, максимальний хід штанги складає 5,40 м.

Методичні печі опалюються сумішшю коксо-доменного і природного газів. Калорійність даної газової суміші складає 1070 - 1450 ккал/нм³.

У кожній методичній печі встановлено по 21 інжекторному пальнику. Розміщення пальників по зонах методичної печі: томільная зона - 5 шт з діаметром сопла 58 мм, перша зварювальна - 5 шт з діаметром сопла 70мм, друга зварювальна, - 5 шт з діаметром сопла 77 мм, нижня зона - 6 шт, з яких два пальники мають діаметр сопла 70мм, інші - чотири по 77 мм.

Для вимірювання температури в кожній зоні методичної печі використовуються термопари.

Тиск в методичних печах регулюється автоматично за допомогою електричного регулятора і спеціального механізму який управляє шибером.

Сортамент стана і марки сталі

Безперервний тонколистий стан гарячої прокатки 1680 призначений для прокатки штаб товщиною від 2,0 до 6,0 мм і шириною від 900 до 1520 мм (таб.1.3).

Товщина, ширина, форма якість поверхні гарячекатаних штаб повинні відповідати вимогам ГОСТ, а також технічним умовам і стандартам підприємства (таб. 1.1, 1.2).

При поставці прокату по ГОСТ 16523-97 на поверхні гарячекатаного прокату не повинно бути плен, порізів, пазирів, тріщин, вкатаних сторонніх і металевих часток, наскрізних розривів, вкатої окалини.

При поставці прокату за ГОСТ 14637-89 на поверхні прокату не повинно бути рванин, наскрізних розривів, пригару й скоринок, гармошки, тріщин, плен, забруднень і вкатої окалини. Допускаються дефекти рябизни, риски й інші місцеві дефекти, які не виводять прокат за граничні розміри. Відхилення від площинності на 1 м довжини прокату, що виготовляється в листах товщиною від 1,5 до 3,9 мм, не повинно перевищувати 15 мм, а для прокату товщиною від 4,0 до 10,0 мм - 12 мм.

Гарячекатані штаби товщиною 1,5 мм прокатують тільки зі сталі марок 1 кп(пс) і 08 кп(пс).

Гарячекатані штаби товщиною 1,8 мм - тільки зі сталі марок 1кп(пс), 2 кп(пс), 08кп(пс) і 10кп(пс).

Обсяг виробництва гарячекатаних штаб товщиною 1,5 мм - не більше 850 тонн на місяць, штаб товщиною 1,8 мм - не більше 2000 тонн на місяць, штаб товщиною 1,9 мм - не більше 6000 тонн на місяць.

Таблиця 1.1 - Розміри штаб які прокатують на тонколистовому стані «1680»

Група сталі	Товщина штаби, мм	Ширина штаби, мм
Напівспокійні, киплячі, нестаріючі	1,5	970-1030
	1,8	970-1100
	1,9	970-1100
	2,0-2,4	1000-1250
	2,5	860-950; 1000-1250
	2,6-2,9	860-950; 1000-1360
	3,0-3,9	860-950; 1000-1500
	4,0-8,0	860-950; 1000-1500
	8,1-10,0	1000-1520
Спокійні	2,0-2,4	1000
	2,5-3,1	1000-1250
	3,2-10,0	860-950; 1000-1400
Низьколеговані	2,0-2,9	970-1000
	3,0-3,9	970-1250
	4,0-10,0	970-1400
Високовуглецеві для ремонтних цілей	3,0 – 9,0	1000-1270
Високовуглецеві для подальшого переділу	2,7-2,9	970-1050
	3,0-6,0	970-1250

Прокат підрозділяють:

по видах продукції:

- листи; - рулони.

по нормованих характеристиках на категорії:

1,2,3,4,5.

по якості обробки поверхні на групи:

- особливо високої обробки; - високої обробки; - підвищеної обробки.

по здатності до витяжки (прокат товщиною до 2,0 мм):

- досить особливо складної; - особливо складної; - складної; - досить глибокої.

Таблиця 1.2 - Сортамент прокатної продукції, тонколистового стану - «1680»

Марка сталі	Розміри в межах, мм	Примітки
Прокат тонколистової з вуглецевої сталі загального призначення ГОСТ 16523-97		
Ст1кп Ст1пс Ст2кп Ст2пс Ст3кп Ст3пс 08кп 08пс 10кп 10пс 15кп 15пс 20кп 20пс	2.0-2.9x1000-1250x2000- 4000 3.0-3.9x1000-1500x2000- 6000	без травлення
Прокат тонколистової з вуглецевої сталі загального призначення ГОСТ 16523-97		
45 55	3.0-3.9x1000-1300x 2000- 3500	
Прокат тонколистової з вуглецевої сталі загального призначення ГОСТ 16523-97		
Ст1кп Ст1пс Ст1сп Ст2кп Ст2пс Ст2сп Ст3кп Ст3пс Ст3сп 08кп 08пс 10кп 10пс 15кп 15пс 15 20кп 20пс 20 25	2.0-2.5 x 1000-1250 до 8 т 2.6-3.0 x 1000-1400 до 8 т 3.1-3.9 x 1000-1500 до 8 т 2.5 x 1000-1100 до 16 т 2.6-3.9 x 1000-1250 до 16 т	Рулони масою до 8 т мають внутрішній діаметр 750 мм, зовнішній до 1250 мм. Рулони масою до 16т мають внутрішній діаметр 750 мм, зовнішній до 1600 мм.

Продовження таблиці 1.2 - Сортамент прокатної продукції тонколистового стана - «1680»

Марка сталі	Розміри в межах, мм	Примітки
Штаба гарячекатана з вуглецевої сталі ТУ 14-15-305-93		
Ст1кп	2-2.5× 150-610	
Ст1пс	внутрішній діаметр 750 мм	
Ст1сп	2.6-3× 150-660	
Ст2кп	внутрішній діаметр 750 мм	
Ст2пс	3.1-8 ×150-735	
Ст2сп	внутрішній діаметр 750 мм	
Ст3кп	2-2.9 ×30;40-540	
Ст3пс	внутрішній діаметр 550 мм	
Ст3сп	3.0-3.9 ×50-540	
08кп	внутрішній діаметр 550 мм	
08пс	4.0 × 70-540	
10кп		
10пс		
10		
15кп		
15пс		
15		
20кп		
20пс		
20		
25		
Штаба гарячекатана в рулонах зі сталі марки 45 ТУ В 27.1-26416904-193:2006		
45	2.7 x 108 3.5 x 105	Травлений, внутрішній діаметр 550 мм
Штаба гарячекатана в рулонах зі сталі марки 65Г ТУ В 27.1-26416904-194:2006		
65Г	3.0 x 250 2.7 x 108 3.5 x 105	Травлений, внутрішній діаметр 550 мм або 750 мм.
Прокат малогабаритний ТУ В 14-4-404-97		
	2.0 – 6.0 × 600 – 1500 ×600– 6000	Розміри листів відповідно до технічних умов
Прокат тонколистової з конструкційної низьколегованої сталі ГОСТ 17066-80		
09Г2 09Г2С	2.0-2.9 x 1000 x 2000-4000 3.0-3.9x1000-1250x2000- 6000	Можлива поставка в рулонах масою до 8 т.

Продовження таблиці 1.2 - Сортамент прокатної продукції тонколистового стана - «1680»

Сталь тонколистова конструкційна легована високоякісна спеціального призначення ГОСТ 11268-76		
25ХГСА 30ХГСА 12Х2НМФА 21Х2НМФА	3.0-3.9 × 1000 × 2000-3500	
Прокат широкоштабовий, універсальний спеціального призначення ГОСТ 11269-76		
25ХГСА 30ХГСА 12Х2НМФА 21Х2НМФА	4.0-6.0 × 1000-1250 × 2000-3500	
Прокат тонколистовий корозійностійкий, жаростійкий і жароміцний ГОСТ 5582-75		
08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 12Х18Н9 17Х18Н9	3.0-3.9 × 1000 × 2000-3500	Аустенітний клас (Листи)
Прокат тонколистовий корозійностійкий, жаростійкий і жароміцний ГОСТ 5582-75		
08Х18Т1 08Х13 10Х14АГ15	3.0-3.9 × 1000 × 2000-3500	Ферритний клас. Аустенітний клас.
Сталь товстолиста корозійностійка, жаростійка й жароміцна ГОСТ 7350-77		
08Х18Т1 08Х13	4.0-6.0 × 1000-1250 × 2000-3500	Ферритний клас (Листи)
Прокат листової з корозійностійких марок сталі зі спеціальною обробкою поверхні ТУ В 14-4-436-98		
08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 12Х18Н9 17Х18Н9	3.0-3.9 x 1000 x 2000-3500, шорсткість до 0.16 4.0-6.0x1000-1250x2000- 3500. Шорсткість до 0.32	У кожному випадку необхідно додатково узгоджувати можливість виготовлення.

1.2 Аналіз «вузьких місць» та заходи щодо реконструкції

Відомо, що більшість металургійних підприємств України, в тому числі і ВАТ МК «Запоріжсталь» м. Запоріжжя, з морального і технічним станом устаткування знаходяться на незадовільному рівні. Зокрема, стан гарячої прокатки 1680 в цеху гарячої прокатки тонкого листа (ЦППТЛ) був запущений в експлуатацію в травні 1938 року. З цього часу базові деталі робочих клітей та основних агрегатів стана не змінювали і капітально не ремонтували.

Змотувачі стана, змонтовані в 1987 році, так само працюють без відновлення базових деталей. На цих змотувачах змотують рулони і йдуть на експорт. Такий рулон повинен відповідати заданим геометричним параметрам, а технічний стан обладнання повинно забезпечити ці параметри. За даними заводської статистичної інформації нами був проаналізований брак рулонів призначалися для експортної поставки за 2008-2011 роки. Результати аналізу наведені в (табл.1.3).

З (таб. 1.3) випливає, що всі види браку рулонів викликані параметричними відмовами обладнання змотувачів стана.

Таблиця 1.3 - Отсортування гарячекатаних рулонів з вини параметричних відмов обладнання змотувачів в період 2008-2011рр.

Найменування дефекту	Обсяг Бракова рулонів т.							
	2008		2009		2010		2011	
	т	%	т	%	т	%	т	%
Телескопічний, нещільний рулонів	8122	0,67	9846	0,81	6700	0,55	8120	0,72
Заворот кромки рулону	20883	1,89	15390	1,26	26826	2,22	26435	2,36
Складка всередині рулонами	343	0,03	230	0,02	522	0,04	310	0,03
РАЗОМ	29348	2,59	25466	2,09	34048	2,81	34865	3,11

Досліджували взаємозв'язок якості змотування штаби і дефектів вузлів змотувача. Диференціація дефектів представлена в (табл.1.4).

Таблиця 1.4 - Перелік дефектів вузлів, що призвели до параметричних відмови змотувача

Вузол з вини якого з'явився дефект рулону	Дефекти виявлені у вузлі (після його розбирання), які потягли за собою параметричний відмова змотувача	Найменування дефекту рулону	Характер параметричного відмови
Лінійки	Знос гайок, вкладишів ходових гвинтів	Заворот кромки рулону телескопічний нещільний рулон	Порушення центрування штаби
Циліндр лінійок	Знос ущільнюючих елементів циліндрів		
Циліндри тягнуть роликів	Знос ущільнюючих елементів циліндрів		
Барабан	Знос наделок клинового механізму разжаття барабана	Складки всередині рулону телескопічний, нещільний рулон	Відсутність прив'язки першого витка рулону до поверхні барабана
Касети	Знос бочок які формують роликів		
Циліндри зводу касет	Знос ущільнюючих елементів циліндрів		Втрата натягу між тягнучими роликами і барабаном моталки
Тягнуть ролики	Знос бочок тягнуть роликів		

Розподіл втрат виробництва викликаних параметричними відмовами представлено на (рис.1.1).

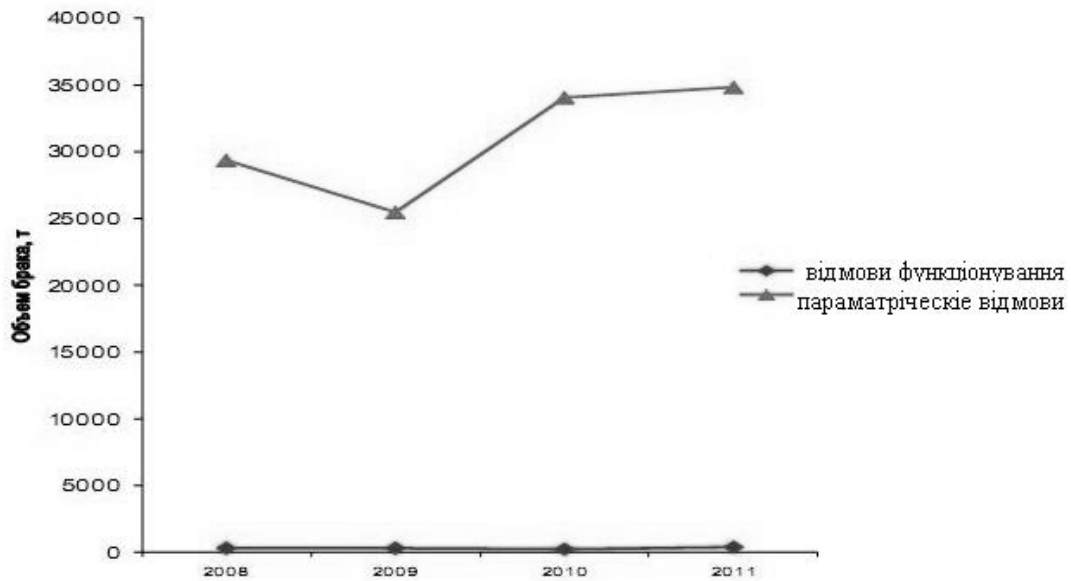


Рисунок 1.1 - Втрати виробництва в наслідок параметричних відмов і відмов функціонування змоторувачів.

Для порівняння на (рис.1.1) показані втрати виробництва від відмов функціонування змоторувачів, дані про яких наведені в (табл. 1.5).

Як видно з таблиць втрати від відмовивши функціонування мізерно малі в порівнянні з втратами, викликаними параметричними відмовами, тому є необхідність діагностувати і попереджати останні.

З економічної, організаційної та експлуатаційної точки зору потрібна стратегія проведення ремонтно-відновлювальних робіт з урахуванням фактичного стану обладнання.

Таблиця 1.5 - Простой стана НШПС-1680 ЦГПТЛ ВАТ «Запоріжсталь»,
із за відмов функціонування вузлів змоторів № 1-3 в період 2008-2011рр.

№ Змоторів	Час простою, мін.			
	2008	2009	2010	2011
Моталка №1	20	15	10	15
Моталка №2	10	15	15	10
Моталка №3	15	15	15	25
Загальний час простою, мін	45	45	35	55
Втрата виробництва (Усереднене), т	343,4	343,4	267,4	420,2

Для виконання ремонтів по технічному стану необхідно:

1. На підставі даних попередніх експлуатацій встановити гранично допустимий знос деталей і основних улов, що не впливає на якість змотування штаби.

2. Робити заміну цих об'єктів відповідно до графіка, складеному на підставі знань про гранично допустимого спрацювання.

3. Впровадження засобів технічної діагностики, з метою отримання інформації про технічний стан вузлів машини під час експлуатації.

Використовуючи теорію надійності, і прийнявши задану ймовірність безвідмовної роботи змотора $P(TP)_{\text{мот}} = 0,9$ - як основного устаткування стану, розрахували задану ймовірність безвідмовної роботи кожного основного вузла змотора (табл.1.6), з урахуванням послідовного з'єднання елементів в систему.

Таблиця 1.6 - Рекомендований період заміни основних вузлів змотувачів стану гарячої прокатки ВАТ «Запоріжсталь»

Найменування вузла	Середня напрацювання на відмова вузла, Т, міс	Ймовірність безвідмовної роботи вузла, Р (1Р)	Рекомендований термін безперервної експлуатації вузла, міс.	Об'єм прокату, тис. тонн
Тягнучі ролики	4,07	0,987	4,02	300
Циліндри тягнучих роликів	6,12	0,987	6,04	450
Барабан	11.78	0.987	11.63	825
Касети з роликами	7,2	0,987	7,1	525
Циліндри зводу	6,4	0,987	6,32	450
Лінійки	12.72	0.987	12.56	900
Циліндри лінійок	3,03	0,987	2,99	225

На підставі статистики відмов та аналізу технічного стану кожного вузла змотувача, при якому настає параметричний відмову, визначали міжремонтний період вузлів (табл.1.6), і пропонували обсяг ремонтних робіт по категорії складності.

Це завдання можна вирішити за рахунок підбору наплавочного матеріалу підвищеної зносостійкості для відновлення поверхонь бочок роликів касет і тягнуть роликів, а також заміни ущільнень гідروциліндра барабана на більш довговічні.

Виконання ремонтних робіт призведе до підвищення надійності змотувачів, зменшення числа параметричних відмов і зниження кількості браку при час змотування штаби в рулон.

Інновації для змотування сучасного гарячекатаного плоского прокату

В даний час сортаменту прокату сплавів розширена за рахунок збільшення попиту на продукцію з передовими механічними властивостями.

З цієї причини з'являються кілька напрямків розвитку технологій гарячекатаної штаби відомств змотування.

- змотування штаб з меншою шириною (до 800 мм).
- змотування ультра-тонкою соломкою (до 0,8 мм) з більш тривалим часом змотування.
- змотування штаб з нормальної ширини (800-2100 мм) з обмеженою сили і товщини матеріалу.
- намотування штаб з нормальної ширини (800-2100 мм) з підвищеною міцністю матеріалу і товщини зразка (потужність змотувача).

Дії для зниження пошкодження штаби

На відміну від своїх попередників, впроваджений «вниз змотувач» повністю гідравлічним приводом. Це дає можливість поліпшити автоматичний контроль якості вниз компонентів змотувача. Гідравлічна система має два контури: контур 1-125 бар; ланцюга 2-290 бар. Другий контур використовується для швидкого регулювання необхідних компонентів, таких як обгортки і притискні валки, а також бокових напрямних.

Обгортки рулону відносяться до основної вниз компоненти змотувача. Вони використовуються для формування вигину і штовхаючи коридор для

штаби, коли вона починає бути обгорнута навколо оправлення. Обгортка валка має два режими роботи.

У силу управління (рис.1.2) режимі, коли перший шар обгорнутий, з'єднання разом з рулоном притискаються до штаби з певним необхідним мінімальним зусиллям, а потім він переміщується вгору на штабі з кожної обгортки на суму товщина штаби (рис. 1.2 а - намотування початку, 1.2 б - після першого плівка). Складність полягає у визначенні сили, з якою обгортка рулона повинна бути притиснена до штаби, тому що, з одного боку сила повинна бути достатньою для досягнення хорошої якості змотування, а з іншого боку, це зусилля не повинно призвести до пошкодження штаби (у випадку дуже тонких і «м'яких» матеріалів). Ця сила повинна бути менше виштовхуючої сили ($F_{пр}$), яка генерується штаби після кожної обгортки.

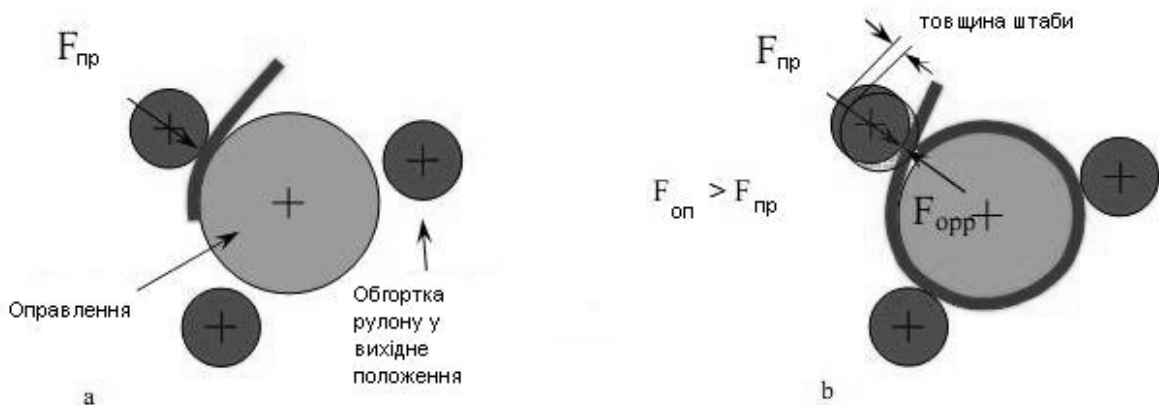


Рисунок 1.2 - Принцип сили управління обгортці рулону:

а - змотування-старт,

б - після першої обгортки.

Основною перевагою режимі управління «Крок» є те, що вона дає можливість зменшити поверхню штаби збитки викликаною краю кінця штаби голови, що натиснута в наступні обгортання. У той же час, зменшення

сили розширення використовується в оправці для того, щоб зменшити тиск на кінці штаби голови зсередини системи. Загалом, спосіб ступеневої управління активується на штабу датчиків, починаючи з 2 мм. Це пов'язано з високою стартовою швидкості змотування.

Види «Вниз змотувачі»

«Вниз змотувачі» для змотування вузької штаби (шириною до 800 мм)

Одним з таких гарячих прокатних цехів з виробництва листового прокату працює при хеш Hohenlimburg Німеччини (рис.1.3). Змотувачі встановлені на цьому заводі, має такі характеристики:

Максимальна і Мінімальна ширина штаби, [мм] 715/150

Максимальна і Мінімальна товщина штаби, [мм] 17/1

Максимальна горяча плинність, [Н /мм] 1000

Мінімальна температура змотування, [°С] 300

Максимальна вага катушки, [т] 15

Максимальний діаметр катушки, [мм] 2000

Штифт максимальний, [мм] 500

Сумарна потужність електродвигунів притискного ролика блок, [кВт] 2x450

Потужність двигуна оправлення, [К/ В] 1500

Максимальний натяг штаби, (кН) 60

Унікальною особливістю «вниз змотувачі» в тому, що штаба змотування початкова швидкість може бути до 15,5 м / с.

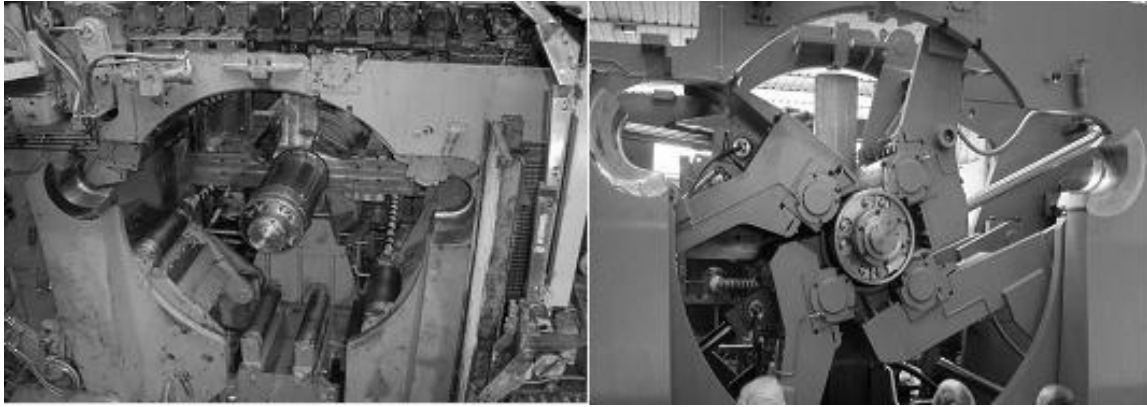


Рисунок 1.3 – «Вниз змотувач» на Хеш Hohenlimburg Німечинна

Для змотування високоміцних матеріалів і шириною 800-2100 мм

В даний час використовуються різні комбінації для змотування нормальної ширини штаби: три і чотири рулону обгортки.

Один з останніх дослідів змотування для високоміцних сплавів ($Re < 1300 \text{ Н / мм}^2$), зроблені Siemens VAI є впроваджений вниз змотувача на стані гарячої прокатки цеху VA Stahl, Linz (Австрія), на (рис. 1.4).

Максимальна ширина штаби, [мм] 1780

Максимальна і мінімальна товщина штаби, [мм] 20/1, 2

Максимальна горяча плинність, [Н / мм] 1300

Температура хв. змотування, [° C] 100

Максимальна вага катушки, [т] 36

Максимальний діаметр катушки, [мм] 2300

Сумарна потужність електродвигунів притискного ролика блок, [кВт] 2 x 750

Штифт максимальний, [мм] 762

Потужність двигуна оправлення, [К/ В] 1500

Максимальний натяг штаби, [кН] 353

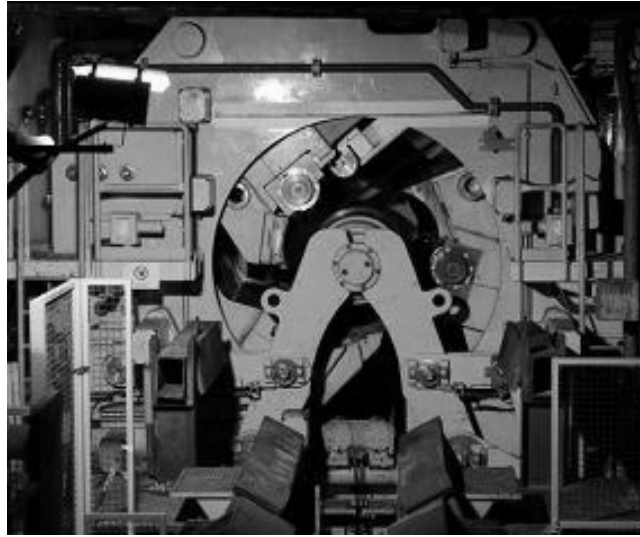


Рисунок 1.4 – «Вниз змотувач» на VA Stahl, Linz (Австрія)

Практичні технологічних експериментів у високоміцні навивки ($R_E = 900-1300 \text{ Н/мм}^2$) показали, що основними критеріями для досягнення високої якості змотування штаби:

- штаба повинна бути високої площинностію
- штаба повинна мати однорідну структуру (механічні властивості)
- обладнання повинне бути в змозі створити достатній натяг між притискними роликками і опорними, особливо після виходу з чистової кліти.

Гарячекатаний рулон з межею плинності до 1300 Н/мм^2 , товщиною - 8 мм, температура змотування $115 \text{ }^\circ\text{C}$ приведений на (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Гарячекатаний рулон з межею плинності до 1300 Н/мм^2 , товщиною - 8 мм, температура змотування $115 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для змотування високоміцних матеріалів. Потужність моталки.

Для визначення необхідних сил змотування рулонів були проведені численні експерименти моделювання інженерного процесу змотування (рис. 1.6).

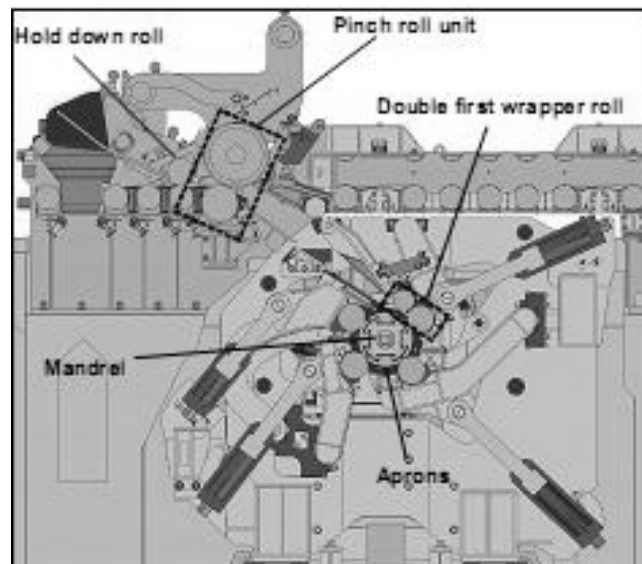


Рисунок 1.6 - Функціональна схема живлення моталки

Моделювання процесів змотування з харчуванням моталки на початку змотування приведений на (рис.1.7).

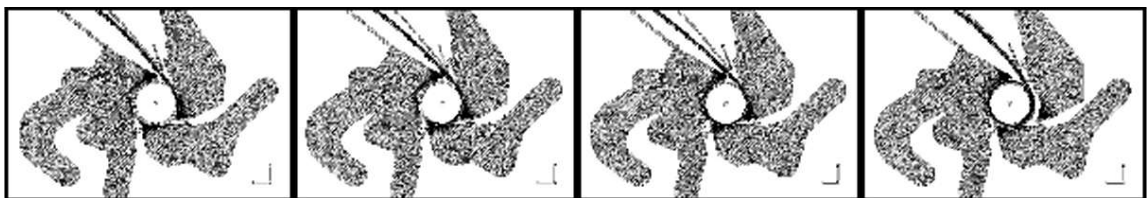


Рисунок 1.7 - Моделювання процесів змотування з живленням моталки на початку змотування

Результати цих досліджень, як було доведено на практиці в 2100 мм завширшки штабовий стан останнім часом побудований і запущений Siemens VAI в Кракові (Польща). Тести змотування з не повністю охолоджуєним головним кінцем проводилися для X80 матеріали і протягом 15, 20 і 25мм (рис. 1.8).

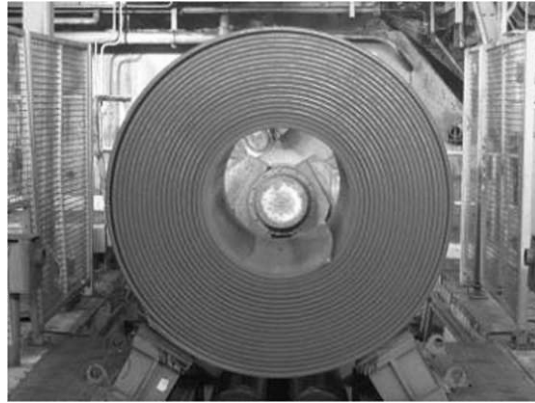


Рисунок 1.8 – Гарячекатаний рулон, матеріал: X80 (Товщина - 25 мм, Ширина 1900 мм)

Найпотужніши змотувачі зведені в Северсталь (Росія), де XI00 марок сталі змотують при товщині 25,4 (рис. 1.9).

«Вниз змотувачі» типу 4-рол. обгортки Северсталь (Росія).

Максимальна ширина штаби, [мм] 1850

Максимальний діаметр котушки, [мм] 2300

Максимальна хв. товщина штаби, [мм] 25,4/1,2

Сумарна потужність електродвигунів притискних блоку рол, [кВт] 2x700

Максимальна гаряча плинність, [Н /мм] 600

Оправлення максимальне, [мм] 850

Температура хв. змотування, [° C] 450

Оправлення потужність двигуна, [кВт] 1670

Максимум вага котушки, [т] 47

Максимальний натяг штаби, [кН] 272

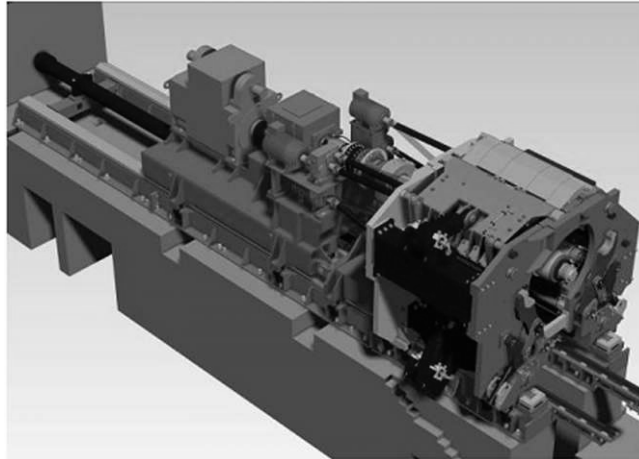


Рисунок 1.9 - Потужність змотувача на заводі Северсталь (Росія)

Беручи сказане до уваги потужність змотувача має такі переваги:

- Високоміцна сталь (наприклад, XI00) штаби товщиною (до 25,4 мм) змотування можливим завдяки:
 - Контрольне утримання на 4-рол, яка покращує змотування штаби.
 - Попередній загин штаби в рулоні щіпку блоку і утримувати рулон.
 - Допоміжний ролик на першому рулоні обгортці, яка робить вигин штаби навколо оправлення легше.
- Скорочення неохолоджуваної голови штаби і заднього кінців (при максимальній товщині штаби і ширина).
- Зниження потреби в електроенергії в обмотках початковій лінії через попередній загин штаби з 4-рол та початкової обгортку-рол блоку
- Намотування повний спектр товщини нормальної гарячої прокатки штаби (1,2-25,4 мм)
- Підвищена безпека операційної для тонких штаб у зв'язку з 4-циліндрова конструкція із зменшеною довжини фартух.

Висновок:

- Виконано аналіз розподілу відмов змотувачів стана.
- Показано, що до найбільш вагомим виробничим втратам призводять параметричні відмови погіршують якість змотки штаби.
- Розрахована необхідна ймовірність безвідмовної роботи вузлів змотувачів.
- Намічені заходи, виконання яких забезпечить підвищення надійності роботи змотувачів, і як наслідок дозволить знизити відсоток браку готової продукції.

У даній роботі був проведений аналіз сучасних технологічних ліній гарячої прокатки листа з точки зору напрямки розвитку устаткування і технологій для змотування гарячекатаної штаби, з метою полегшити вибір напрямку модернізації існуючого або плануванні нового обладнання і технологій змотування. Описано основні фактори, що впливають на погіршення якості головної частини штаби на початку змотування та методи їх усунення. Описано основні параметри необхідні для технологічного проектування змотувачів з метою отримання бунту високої якості. Детально розкрита тема нового покоління змотувачів типу "Вниз моталки" для змотування високоміцних трубних марок сталі групи "X" (X100, X 120).

Пропонується встановити Універсальний гідравлічний змотувач, який представлений на (рис. 1.10). Змотувач дозволяє виконувати наступні операції:

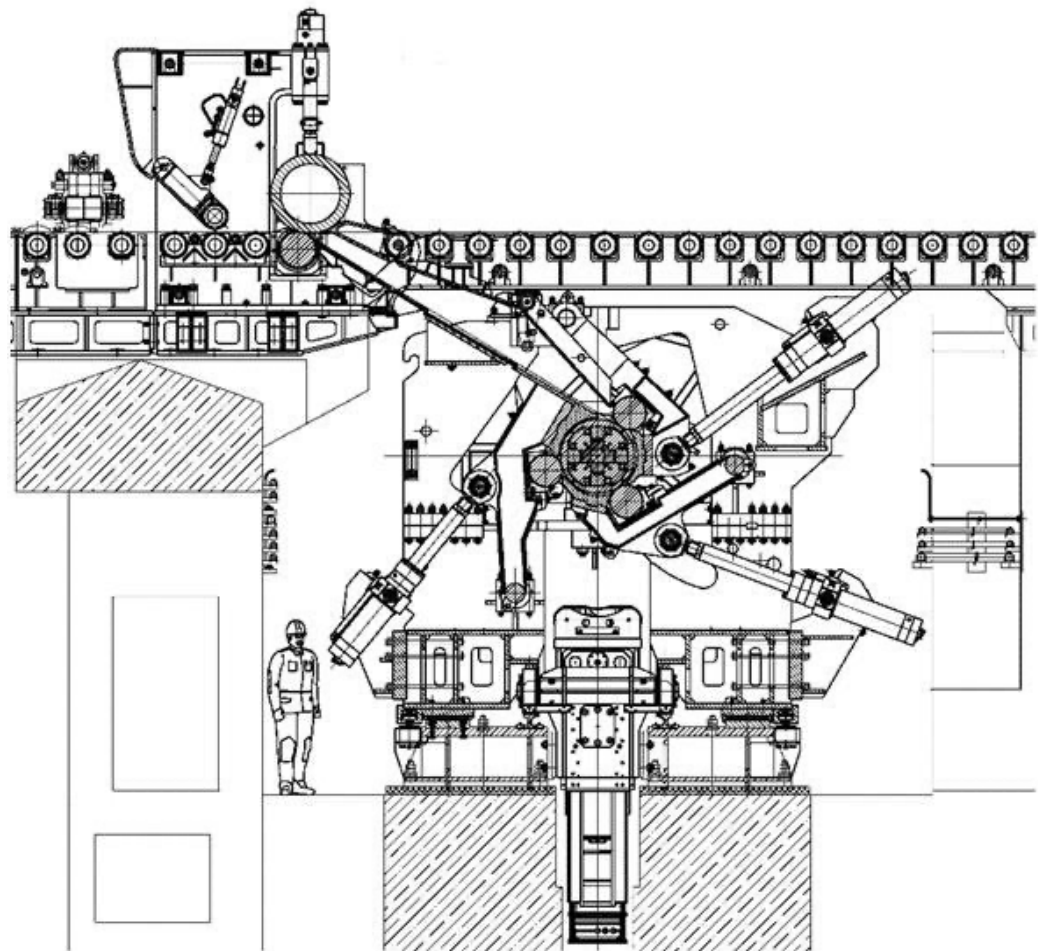


Рисунок 1.10 – 3-х роликовий змотувач стану

- Надійне захоплення штаби тягнучими, формуючими роликами і барабаном на швидкостях до 12,5 м / с
- Надійна «прив'язка» штаби до барабана, час до виникнення натягу зменшується на 70%.
- Змотування рулонів з мінімальною телескопічністю (не більше 20 мм).
- Змотування рулонів з мінімальними зазорами між витками (щільність з мотки не нижче 0,98).
- Змотування рулонів з мінімальними ушкодженнями поверхні штаби.
- Ефективне охолодження рулонів і вузлів змотувачів. Точне і стабільне позиціонування механізмів, підтримання настроювальних зазорів, швидкісних і енергосилових параметрів.
- Мінімальні динамічні навантаження

- Надійність і довговічність основних вузлів змотувачів.
- Зручність обслуговування і ремонту.

Технічна характеристика станів приведена в (таб. 1.7).

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика станів

Найменування параметра	3-х ролик.	4-х ролик.
Товщина штаби, в мм	1,2 .. 20	1,2 .. 25
Ширина штаби, в мм	700 ..1850	1000 .. 2350
Зовнішній діаметр рулону, мм	до 2300	до 2100
Внутрішній діаметр рулону, мм	850	850
Маса рулону, мм	до 45	до 40
Натяг штаби, кН	до 25	до 60
Швидкість змотування штаби, м / с	до 23	до 17
Швидкість завдання штаби в змотувач, м / с	0,5 .. 12,5	0,5 .. 12,5
Температура змотувати штаб, ° С	500 .. 850	500 .. 850
Межа плинності полос при 500 ° С, МПа	до 500	до 500

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок режимів обтисків

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

h_0 , мм	b_0 , мм	h_n , мм	b_n , мм	Марка сталі
200	980	2,5	1000	08Ю

Визначаємо величини відносних обтисків по проходах в чорновій групі клітей на основі даних підприємства:

$$E_{\text{дуо}} = 25\%, E_1 = 32\%; E_2 = 37\%; E_3 = 37\%; E_4 = 34\%.$$

Визначаємо товщину штаби в чорновій групі клітей:

$$\begin{aligned} h_{\text{дуо}} &= h_0(1 - E_{\text{дуо}}) = 200(1 - 0,25) = 150 \text{ мм}; & (2.1) \\ h_1 &= h_{\text{дуо}}(1 - E_1) = 150(1 - 0,32) = 102 \text{ мм}; \\ h_2 &= h_1(1 - E_2) = 102(1 - 0,37) = 64,3 \text{ мм}; \\ h_3 &= h_2(1 - E_3) = 64,3(1 - 0,37) = 40,5 \text{ мм}; \\ h_4 &= h_3(1 - E_4) = 40,5(1 - 0,34) = 26,7 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Визначаємо обтиски в чорновій групі клітей:

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{дуо}} &= h_0 - h_{\text{дуо}} = 200 - 150 = 50 \text{ мм}; & (2.2) \\ \Delta h_1 &= h_{\text{дуо}} - h_1 = 150 - 102 = 48 \text{ мм}; \\ \Delta h_2 &= h_1 - h_2 = 102 - 64,3 = 37,7 \text{ мм}; \\ \Delta h_3 &= h_2 - h_3 = 64,3 - 40,5 = 23,8 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\Delta h_4 = h_3 - h_4 = 40,5 - 26,7 = 13,8 \text{ мм.}$$

Визначаємо розширення в чорновій групі клітей:

$$\Delta b_{\text{дуо}} = 0,35 \frac{\Delta h_{\text{дуо}}}{h_0} \times \sqrt{R \Delta h_{\text{дуо}}} = 0,35 \times 0,25 \times 150 = 13 \text{ мм;} \quad (2.3)$$

$$\Delta b_1 = 0,35 \frac{\Delta h_1}{h_{\text{дуо}}} \times \sqrt{R \Delta h_1} = 0,35 \times 0,32 \times 150,2 = 17 \text{ мм;}$$

$$\Delta b_2 = 0,35 \frac{\Delta h_2}{h_1} \times \sqrt{R \Delta h_2} = 0,35 \times 0,37 \times 126,6 = 16 \text{ мм;}$$

$$\Delta b_3 = 0,35 \frac{\Delta h_3}{h_2} \times \sqrt{R \Delta h_3} = 0,35 \times 0,37 \times 85,9 = 11 \text{ мм;}$$

$$\Delta b_4 = 0,35 \frac{\Delta h_4}{h_3} \times \sqrt{R \Delta h_4} = 0,35 \times 0,34 \times 65,4 = 8 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальну величину розширення в чорновій групі клітей:

$$\sum \Delta b = \Delta b_{\text{дуо}} + \Delta b_1 + \Delta b_2 + \Delta b_3 + \Delta b_4 = 13 + 17 + 16 + 11 + 8 = 65 \text{ мм.} \quad (2.4)$$

Визначаємо величину обтисків у вертикальних клітях:

$$\sum \Delta h_{\text{в}} = b_0 - b_n + \sum \Delta b = 1230 - 1250 + 65 = 45 \text{ мм.} \quad (2.5)$$

Розподіляємо обтиски у вертикальних клітях:

$$\sum \Delta h_{\text{в}} = 20 + 15 + 10 = 45 \text{ мм.} \quad (2.6)$$

Визначаємо ширину штаби за проходами в чорновій групі клітей:

$$b_{\text{дуо}} = b_0 + \Delta b_{\text{дуо}} = 980 + 13 = 993 \text{ мм;} \quad (2.7)$$

$$b_1 = b_{\text{дуо}} + \Delta b_1 = 993 + 17 = 1010 \text{ мм};$$

$$b_2 = b_1 - \Delta h_{\text{в}_1} + \Delta b_2 = 1010 - 20 + 16 = 1006 \text{ мм};$$

$$b_3 = b_2 - \Delta h_{\text{в}_2} + \Delta b_3 = 1006 - 15 + 11 = 1002 \text{ мм};$$

$$b_4 = b_3 - \Delta h_{\text{в}_3} + \Delta b_4 = 1002 - 10 + 8 = 1000 \text{ мм}.$$

Визначаємо площі поперечних перерізів штаби в чорновій групі клітей:

$$F_{\text{дуо}} = h_{\text{дуо}} \times b_{\text{дуо}} = 150 \times 993 = 186450 \text{ мм}^2; \quad (2.8)$$

$$F_1 = h_1 \times b_1 = 102 \times 1010 = 128520 \text{ мм}^2;$$

$$F_2 = h_2 \times b_2 = 64,3 \times 1006 = 80761 \text{ мм}^2;$$

$$F_3 = h_3 \times b_3 = 40,5 \times 1002 = 50706 \text{ мм}^2;$$

$$F_4 = h_4 \times b_4 = 26,7 \times 100 = 33375 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо коефіцієнт витяжки в чорновій групі клітей:

$$\mu_{\text{дуо}} = \frac{F_0}{F_{\text{дуо}}} = \frac{246000}{186450} = 1,32; \quad (2.9)$$

$$\mu_1 = \frac{F_{\text{дуо}}}{F_1} = \frac{186450}{128520} = 1,45;$$

$$\mu_2 = \frac{F_{\text{в}_1}}{F_2} = \frac{128520}{80761} = 1,59;$$

$$\mu_3 = \frac{F_{\text{в}_2}}{F_3} = \frac{80761}{50706} = 1,59;$$

$$\mu_4 = \frac{F_{\text{в}_3}}{F_4} = \frac{50706}{33375} = 1,52.$$

Визначаємо кути захоплення в чорновій групі клітей:

$$\alpha_{\text{дуо}} = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_{\text{дуо}}}{R}} = 57,3 \sqrt{\frac{50}{450}} = 19^\circ; \quad (2.10)$$

$$\alpha_1 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R}} = 57,3 \sqrt{\frac{48}{475}} = 18^\circ;$$

$$\alpha_2 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R}} = 57,3 \sqrt{\frac{37,7}{425}} = 17^\circ;$$

$$\alpha_3 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R}} = 57,3 \sqrt{\frac{28,3}{310}} = 16^\circ;$$

$$\alpha_4 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_4}{R}} = 57,3 \sqrt{\frac{12,1}{310}} = 12^\circ.$$

Визначаємо довжину штаби за проходами в чорновій групі клітей:

$$l_0 = 7 \text{ м};$$

$$l_{\text{дуо}} = l_0 \times \mu_{\text{дуо}} = 7 \times 1,32 = 9,24 \text{ м}; \quad (2.11)$$

$$l_1 = l_{\text{дуо}} \times \mu_1 = 9,24 \times 1,45 = 13,4 \text{ м};$$

$$l_2 = l_{\text{в}_1} \times \mu_2 = 13,4 \times 1,59 = 21,3 \text{ м};$$

$$l_3 = l_{\text{в}_2} \times \mu_3 = 21,3 \times 1,59 = 33,4 \text{ м};$$

$$l_4 = l_{\text{в}_3} \times \mu_4 = 33,4 \times 1,52 = 50,8 \text{ м}.$$

Визначаємо загальний коефіцієнт обтисків в чистовій групі клітей:

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{h_n}{h_4} = \frac{2,5}{26,7} = 0,09. \quad (2.12)$$

Визначаємо середній коефіцієнт обтисків в чистовій групі клітей:

$$\eta_{\text{сер}} = \sqrt[5]{0,09} = 0,67. \quad (2.13)$$

Розподіляємо обтиски за проходами в чистовій групі клітей:

$$\eta_{\text{заг}} = 0,64 \times 0,65 \times 0,67 \times 0,68 \times 0,69 \times 0,70 = 0,09. \quad (2.14)$$

Визначаємо товщину штаби за проходами в чистовій групі клітей:

$$h_5 = h_4 \times \eta_1 = 26,7 \times 0,64 = 17,1 \text{ мм}; \quad (2.15)$$

$$h_6 = h_5 \times \eta_2 = 17,1 \times 0,65 = 11,1 \text{ мм};$$

$$h_7 = h_6 \times \eta_3 = 11,1 \times 0,67 = 7,4 \text{ мм};$$

$$h_8 = h_7 \times \eta_4 = 7,4 \times 0,68 = 5 \text{ мм};$$

$$h_9 = h_8 \times \eta_5 = 5 \times 0,69 = 3,5 \text{ мм};$$

$$h_{10} = h_9 \times \eta_6 = 3,5 \times 0,70 = 2,5 \text{ мм}.$$

Визначаємо обтиски по проходах в чистовій групі клітей:

$$\Delta h_5 = h_4 - h_5 = 26,7 - 17,1 = 9,6 \text{ мм}; \quad (2.16)$$

$$\Delta h_6 = h_5 - h_6 = 17,1 - 11,1 = 6 \text{ мм};$$

$$\Delta h_7 = h_6 - h_7 = 11,1 - 7,4 = 3,7 \text{ мм};$$

$$\Delta h_8 = h_7 - h_8 = 7,4 - 5 = 2,4 \text{ мм};$$

$$\Delta h_9 = h_8 - h_9 = 5 - 3,5 = 1,5 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{10} = h_9 - h_{10} = 3,5 - 2,5 = 1 \text{ мм}.$$

Визначаємо відносні обтиски в чистовій групі клітей:

$$\begin{aligned}
 E_5 &= \frac{\Delta h_5}{h_4} \times 100\% = \frac{9,6}{26,7} \times 100\% = 36\%; \\
 E_6 &= \frac{\Delta h_6}{h_5} \times 100\% = \frac{6}{17,1} \times 100\% = 35\%; \\
 E_7 &= \frac{\Delta h_7}{h_6} \times 100\% = \frac{3,7}{11,1} \times 100\% = 33\%; \\
 E_8 &= \frac{\Delta h_8}{h_7} \times 100\% = \frac{2,4}{7,4} \times 100\% = 32\%; \\
 E_9 &= \frac{\Delta h_9}{h_8} \times 100\% = \frac{1,5}{5} \times 100\% = 30\%; \\
 E_{10} &= \frac{\Delta h_{10}}{h_9} \times 100\% = \frac{1}{3,5} \times 100\% = 28\%.
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Визначаємо площі поперечних перерізів в чистовій групі клітей:

$$\begin{aligned}
 F_5 &= h_5 \times b_5 = 17,1 \times 1250 = 21375 \text{ мм}^2; \\
 F_6 &= h_6 \times b_6 = 11,1 \times 1250 = 13875 \text{ мм}^2; \\
 F_7 &= h_7 \times b_7 = 7,4 \times 1250 = 9250 \text{ мм}^2; \\
 F_8 &= h_8 \times b_8 = 5 \times 1250 = 6250 \text{ мм}^2; \\
 F_9 &= h_9 \times b_9 = 3,5 \times 1250 = 4375 \text{ мм}^2; \\
 F_{10} &= h_{10} \times b_{10} = 2,5 \times 1250 = 3125 \text{ мм}^2.
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

Визначаємо витягування в чистовій групі клітей:

$$\mu_5 = \frac{F_4}{F_5} = \frac{33375}{21375} = 1,56;
 \tag{2.20}$$

$$\mu_6 = \frac{F_5}{F_6} = \frac{21375}{13875} = 1,54;$$

$$\mu_7 = \frac{F_6}{F_7} = \frac{13875}{9250} = 1,5;$$

$$\mu_8 = \frac{F_7}{F_8} = \frac{9250}{6250} = 1,48;$$

$$\mu_9 = \frac{F_8}{F_9} = \frac{6250}{4375} = 1,43;$$

$$\mu_{10} = \frac{F_9}{F_{10}} = \frac{4375}{3125} = 1,4.$$

Визначаємо кути захоплення в чистовій групі клітей:

$$\alpha_5 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_5}{R_5}} = 57,3 \sqrt{\frac{9,6}{310}} = 10^\circ; \quad (2.21)$$

$$\alpha_6 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_6}{R_6}} = 57,3 \sqrt{\frac{6}{310}} = 8^\circ;$$

$$\alpha_7 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_7}{R_7}} = 57,3 \sqrt{\frac{3,7}{310}} = 6^\circ;$$

$$\alpha_8 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_8}{R_8}} = 57,3 \sqrt{\frac{2,4}{310}} = 5^\circ;$$

$$\alpha_9 = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_9}{R_9}} = 57,3 \sqrt{\frac{1,5}{310}} = 4^\circ;$$

$$\alpha_{10} = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h_{10}}{R_{10}}} = 57,3 \sqrt{\frac{1}{310}} = 3^\circ.$$

Визначаємо довжину штаби в чистовій групі клітей:

$$l_5 = l_4 \times \mu_4 = 50,8 \times 1,56 = 79,3 \text{ м}; \quad (2.22)$$

$$l_6 = l_5 \times \mu_5 = 79,3 \times 1,54 = 122,1 \text{ м};$$

$$l_7 = l_6 \times \mu_6 = 122,1 \times 1,5 = 183,2 \text{ м};$$

$$l_8 = l_7 \times \mu_7 = 183,2 \times 1,48 = 271,1 \text{ м};$$

$$l_9 = l_8 \times \mu_8 = 271,1 \times 1,43 = 387,7 \text{ м};$$

$$l_{10} = l_9 \times \mu_9 = 387,7 \times 1,4 = 542,8 \text{ м}.$$

Визначаємо швидкості прокатки у клітях у чорновій групі клітей:

$$V_{\text{дуо}} = \frac{\pi \times D_{\text{дуо}} \times n_{\text{дуо}}}{60} = \frac{3,14 \times 900 \times 20}{60} = 0,94 \text{ м/с}; \quad (2.23)$$

$$V_1 = \frac{\pi \times D_1 \times n_1}{60} = \frac{3,14 \times 940 \times 22,2}{60} = 1,09 \text{ м/с};$$

$$V_2 = \frac{\pi \times D_2 \times n_2}{60} = \frac{3,14 \times 850 \times 25,5}{60} = 1,13 \text{ м/с};$$

$$V_3 = \frac{\pi \times D_3 \times n_3}{60} = \frac{3,14 \times 620 \times 50}{60} = 1,62 \text{ м/с};$$

$$V_4 = \frac{\pi \times D_4 \times n_4}{60} = \frac{3,14 \times 620 \times 65}{60} = 2,11 \text{ м/с}.$$

Визначаємо швидкості прокатки у клітях чистової групи клітей, з закону сталості секундних об'ємів :

$$c = h_{10} \times V_{10} = 0,0025 \times 10 = 0,025 \text{ м}^2/\text{с}; \quad (2.24)$$

$$V_5 = \frac{c}{h_5} = \frac{0,025}{0,0171} = 1,46 \text{ м/с};$$

$$V_6 = \frac{c}{h_6} = \frac{0,025}{0,0111} = 2,25 \text{ м/с};$$

$$V_7 = \frac{c}{h_7} = \frac{0,025}{0,0074} = 3,38 \text{ м/с};$$

$$V_8 = \frac{c}{h_8} = \frac{0,025}{0,005} = 5 \text{ м/с};$$

$$V_9 = \frac{c}{h_9} = \frac{0,025}{0,0035} = 7,14 \text{ м/с};$$

$$V_{10} = 10 \text{ м/с}.$$

Температура прокатки по клітям становить:

$$t_{\text{дуо.}} = 1250 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_6 = 1060 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_1 = 1230 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_7 = 1005 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 1210 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_8 = 950 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 1190 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_9 = 900 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_4 = 1150 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{10} = 850 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$t_5 = 1100 \text{ }^\circ\text{C};$$

Розрахунок режимів обтисків приведений в (таб. 2.2).

Таблиця 2.2 - Розрахунок режимів обтисків

Тип кліті	h, мм	Δh , мм	Δb , мм	b, мм	μ	α°	E%	l, м	V, м/с
Дуо	150	50	13,1	1243	1,32	19	25	9,2	0,94
1	102	48	16,8	1260	1,45	18	32	13,4	1,09
2	64,3	37,7	16,4	1256	1,59	17	37	21,3	1,13
3	40,5	23,8	11,1	1252	1,59	16	37	33,4	1,62
4	26,7	13,8	7,8	1250	1,52	12	34	50,8	2,11
5	17,1	9,6		1250	1,56	10	36	79,3	1,46
6	11,1	6		1250	1,54	8	35	122,1	2,25
7	7,4	3,7		1250	1,5	6	33	183,2	3,38
8	5	2,4		1250	1,48	5	32	271,1	5
9	3,5	1,5		1250	1,43	4	30	387,7	7,14
10	2,5	1		1250	1,4	3	28	542,8	10

Графічний аналіз результатів розрахунку режимів обтисків представлений на (рис. 2.1 ; 2.2).

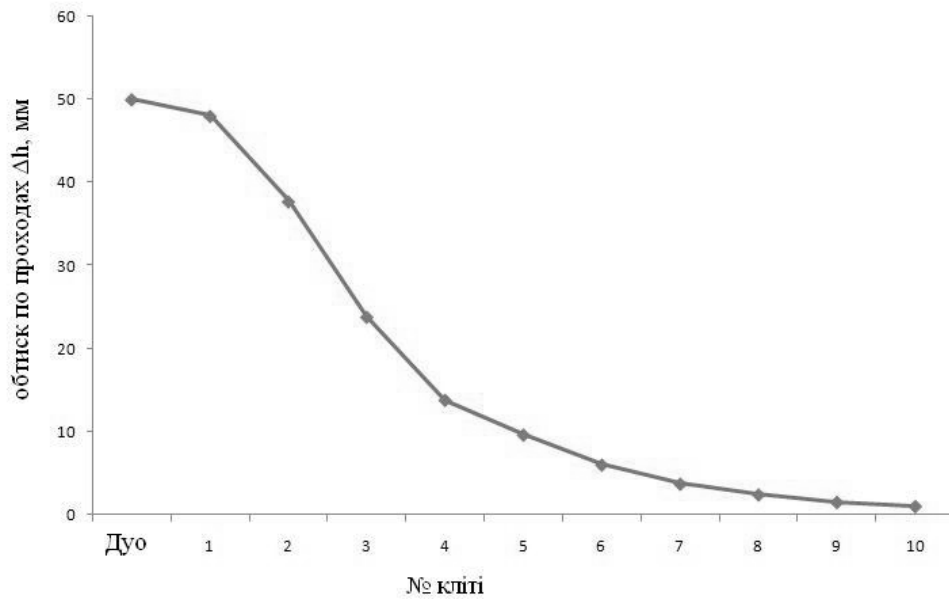


Рисунок 2.1 – Графічний аналіз обтисків по проходах

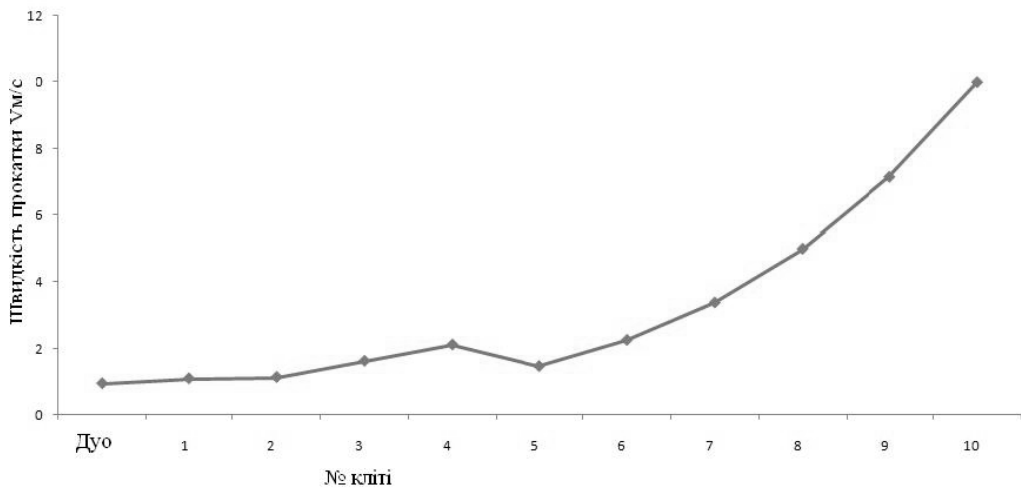


Рисунок 2.2 – Графічний аналіз швидкості прокатки

2.2 Розрахунок енерго – силових параметрів

Визначаємо довжину осередка деформації:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{дуо}} &= \sqrt{R_{\text{дуо}} \Delta h_{\text{дуо}}} = \sqrt{450 \times 50} = 150 \text{ мм}; & (2.25) \\
 l_1 &= \sqrt{R_1 \Delta h_1} = \sqrt{470 \times 48} = 150,2 \text{ мм}; \\
 l_2 &= \sqrt{R_2 \Delta h_2} = \sqrt{425 \times 37,7} = 126,6 \text{ мм}; \\
 l_3 &= \sqrt{R_3 \Delta h_3} = \sqrt{310 \times 23,8} = 85,9 \text{ мм}; \\
 l_4 &= \sqrt{R_4 \Delta h_4} = \sqrt{310 \times 13,8} = 64,4 \text{ мм}; \\
 l_5 &= \sqrt{R_5 \Delta h_5} = \sqrt{310 \times 9,6} = 54,6 \text{ мм}; \\
 l_6 &= \sqrt{R_6 \Delta h_6} = \sqrt{310 \times 6} = 43,1 \text{ мм}; \\
 l_7 &= \sqrt{R_7 \Delta h_7} = \sqrt{310 \times 3,7} = 33,9 \text{ мм}; \\
 l_8 &= \sqrt{R_8 \Delta h_8} = \sqrt{310 \times 2,4} = 27,3 \text{ мм}; \\
 l_9 &= \sqrt{R_9 \Delta h_9} = \sqrt{310 \times 1,5} = 21,6 \text{ мм}; \\
 l_{10} &= \sqrt{R_{10} \Delta h_{10}} = \sqrt{310 \times 1} = 17,6 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Визначаємо середню швидкість деформації:

$$U_{\text{срдуо}} = \frac{V_{\text{дуо}} E_{\text{дуо}}}{l_{\text{дуо}}} = \frac{0,94 \times 1000 \times 0,25}{150} = 1,57 \text{ с}^{-1}; \quad (2.26)$$

$$U_{\text{cp}_1} = \frac{V_1 E_1}{l_1} = \frac{1,09 \times 1000 \times 0,32}{150,2} = 2,32 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_2} = \frac{V_2 E_2}{l_2} = \frac{1,13 \times 1000 \times 0,37}{126,6} = 3,3 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_3} = \frac{V_3 E_3}{l_3} = \frac{1,62 \times 1000 \times 0,37}{85,9} = 6,9 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_4} = \frac{V_4 E_4}{l_4} = \frac{2,11 \times 1000 \times 0,34}{65,4} = 10,9 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_5} = \frac{V_5 E_5}{l_5} = \frac{1,46 \times 1000 \times 0,36}{54,6} = 9,6 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_6} = \frac{V_6 E_6}{l_6} = \frac{2,25 \times 1000 \times 0,35}{43,1} = 18,3 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_7} = \frac{V_7 E_7}{l_7} = \frac{3,38 \times 1000 \times 0,33}{33,9} = 32,9 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_8} = \frac{V_8 E_8}{l_8} = \frac{5 \times 1000 \times 0,32}{27,3} = 58,6 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_9} = \frac{V_9 E_9}{l_9} = \frac{7,14 \times 1000 \times 0,30}{21,6} = 99,2 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{\text{cp}_{10}} = \frac{V_{10} E_{10}}{l_{10}} = \frac{10 \times 1000 \times 0,28}{17,6} = 159,1 \text{ c}^{-1}.$$

Визначаємо середні значення відносного обтиску:

$$E_{\text{ср}_{\text{дуо}}} = \frac{2 \times \Delta h_{\text{дуо}}}{3 \times h_{\text{дуо}}} = \frac{2 \times 50}{3 \times 150} = 0,22; \quad (2.27)$$

$$E_{\text{ср}_1} = \frac{2 \times \Delta h_1}{3 \times h_1} = \frac{2 \times 48}{3 \times 102} = 0,31;$$

$$E_{\text{ср}2} = \frac{2 \times \Delta h_2}{3 \times h_2} = \frac{2 \times 37,7}{3 \times 64,3} = 0,39;$$

$$E_{\text{ср}3} = \frac{2 \times \Delta h_3}{3 \times h_3} = \frac{2 \times 23,8}{3 \times 40,5} = 0,39;$$

$$E_{\text{ср}4} = \frac{2 \times \Delta h_4}{3 \times h_4} = \frac{2 \times 13,8}{3 \times 26,7} = 0,34;$$

$$E_{\text{ср}5} = \frac{2 \times \Delta h_5}{3 \times h_5} = \frac{2 \times 9,6}{3 \times 17,1} = 0,37;$$

$$E_{\text{ср}6} = \frac{2 \times \Delta h_6}{3 \times h_6} = \frac{2 \times 6}{3 \times 11,1} = 0,36;$$

$$E_{\text{ср}7} = \frac{2 \times \Delta h_7}{3 \times h_7} = \frac{2 \times 3,7}{3 \times 7,4} = 0,33;$$

$$E_{\text{ср}8} = \frac{2 \times \Delta h_8}{3 \times h_8} = \frac{2 \times 2,4}{3 \times 5} = 0,32;$$

$$E_{\text{ср}9} = \frac{2 \times \Delta h_9}{3 \times h_9} = \frac{2 \times 1,5}{3 \times 3,5} = 0,29;$$

$$E_{\text{ср}10} = \frac{2 \times \Delta h_{10}}{3 \times h_{10}} = \frac{2 \times 1}{3 \times 2,5} = 0,27.$$

Визначаємо середнє значення коефіцієнта зміцнення:

$$k_{E_{\text{ср}200}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{E_{\text{ср}200}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{0,22} = 1,20; \quad (2.28)$$

$$k_{E_{\text{ср}1}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{E_{\text{ср}1}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{0,31} = 1,28;$$

$$k_{E_{\text{ср}2}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{E_{\text{ср}2}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{0,39} = 1,33;$$

$$k_{E_{\text{ср}3}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{E_{\text{ср}3}} = 0,82 + 0,82 \sqrt{0,39} = 1,33;$$

$$\begin{aligned}
k_{E_{cp4}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp4}} = 0,82+0,82\sqrt{0,34} = 1,29; \\
k_{E_{cp5}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp5}} = 0,82+0,82\sqrt{0,37} = 1,32; \\
k_{E_{cp6}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp6}} = 0,82+0,82\sqrt{0,36} = 1,31; \\
k_{E_{cp7}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp7}} = 0,82+0,82\sqrt{0,33} = 1,29; \\
k_{E_{cp8}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp8}} = 0,82+0,82\sqrt{0,32} = 1,28; \\
k_{E_{cp9}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp9}} = 0,82+0,82\sqrt{0,29} = 1,26; \\
k_{E_{cp10}} &= 0,82+0,82 \sqrt{E_{cp10}} = 0,82+0,82\sqrt{0,27} = 1,25.
\end{aligned}$$

Визначаємо середнє значення швидкісного коефіцієнта:

$$\begin{aligned}
k_{U_{cp_{дво}}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp_{дво}}} = 0,8+0,065\sqrt{1,57} = 0,88; & (2.28) \\
k_{U_{cp1}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp1}} = 0,8+0,065\sqrt{2,32} = 0,89; \\
k_{U_{cp2}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp2}} = 0,8+0,065\sqrt{3,3} = 0,92; \\
k_{U_{cp3}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp3}} = 0,8+0,065\sqrt{6,9} = 0,97; \\
k_{U_{cp4}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp4}} = 0,8+0,065\sqrt{10,9} = 1,01; \\
k_{U_{cp5}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp5}} = 0,8+0,065\sqrt{9,6} = 1; \\
k_{U_{cp6}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp6}} = 0,8+0,065\sqrt{18,3} = 1,08; \\
k_{U_{cp7}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp7}} = 0,8+0,065\sqrt{32,9} = 1,17; \\
k_{U_{cp8}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp8}} = 0,8+0,065\sqrt{58,6} = 1,3; \\
k_{U_{cp9}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp9}} = 0,8+0,065\sqrt{99,2} = 1,45; \\
k_{U_{cp10}} &= 0,8+0,065 \sqrt{U_{cp10}} = 0,8+0,065\sqrt{159,1} = 1,62.
\end{aligned}$$

Визначаємо середнє значення температурного коефіцієнта:

$$k_{t_{cp}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp}); \quad (2.29)$$

$$k_{t_{cp_{дво}}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_{дво}}) = 0,6 + 0,0045(1200 - 1250) = 0,38;$$

$$k_{t_{cp_1}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_1}) = 0,6 + 0,0045(1200 - 1230) = 0,47;$$

$$k_{t_{cp_2}} = 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_2}) = 0,6 + 0,0045(1200 - 1210) = 0,56;$$

$$\begin{aligned} k_{t_{cp_3}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_3}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp_3}}{t_{cp_3}}} = \\ &= 0,6 + 0,0045(1200 - 1190) \sqrt{\frac{1200 - 1190}{1190}} = 0,60; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{t_{cp_4}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_4}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp_4}}{t_{cp_4}}} = \\ &= 0,6 + 0,0045(1200 - 1150) \sqrt{\frac{1200 - 1150}{1150}} = 0,65; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{t_{cp_5}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_5}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp_5}}{t_{cp_5}}} = \\ &= 0,6 + 0,0045(1200 - 1100) \sqrt{\frac{1200 - 1100}{1100}} = 0,74; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{t_{cp_6}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_6}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp_6}}{t_{cp_6}}} = \\ &= 0,6 + 0,0045(1200 - 1060) \sqrt{\frac{1200 - 1060}{1060}} = 0,83; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{t_{cp_7}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp_7}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp_7}}{t_{cp_7}}} = \\ &= 0,6 + 0,0045(1200 - 1005) \sqrt{\frac{1200 - 1005}{1005}} = 0,99; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{t_{cp8}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp8}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp8}}{t_{cp8}}} = \\
 &= 0,6 + 0,0045(1200 - 950) \sqrt{\frac{1200 - 950}{950}} = 1,17; \\
 k_{t_{cp9}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp9}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp9}}{t_{cp9}}} = \\
 &= 0,6 + 0,0045(1200 - 900) \sqrt{\frac{1200 - 900}{900}} = 1,38; \\
 k_{t_{cp10}} &= 0,6 + 0,0045(1200 - t_{cp10}) \sqrt{\frac{1200 - t_{cp10}}{t_{cp10}}} = \\
 &= 0,6 + 0,0045(1200 - 850) \sqrt{\frac{1200 - 850}{850}} = 1,6.
 \end{aligned}$$

Визначаємо коефіцієнт тертя при сталому процесі прокатки :

k_B - коефіцієнт який враховує матеріал валків;

k_V - коефіцієнт враховує вплив окружної швидкості;

k_C - коефіцієнт враховує вплив хімічного складу прокатуваної марки сталі;

t – температура штаби по клітям.

$$f_y = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp}) \quad (2.30)$$

$$f_{y_{y_{y0}}} = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp_{y_{y0}}}) = 0,9 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1250) = 0,146;$$

$$f_{y_1} = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp_1}) = 0,9 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1230) = 0,152;$$

$$f_{y_2} = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp_2}) = 0,9 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1210) = 0,152;$$

$$f_{y_3} = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp_3}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1190) = 0,186;$$

$$f_{y_4} = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp_4}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1150) = 0,193;$$

$$f_{y_5} = k_B k_C k_V (0,55 - 0,00024 t_{cp_5}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1100) = 0,207;$$

$$f_{y_6} = k_B k_c k_v (0,55 - 0,00024 t_{cp_6}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1060) = 0,215;$$

$$f_{y_7} = k_B k_c k_v (0,55 - 0,00024 t_{cp_7}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 1005) = 0,222;$$

$$f_{y_8} = k_B k_c k_v (0,55 - 0,00024 t_{cp_8}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 950) = 0,229;$$

$$f_{y_9} = k_B k_c k_v (0,55 - 0,00024 t_{cp_9}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 900) = 0,236;$$

$$f_{y_{10}} = k_B k_c k_v (0,55 - 0,00024 t_{cp_{10}}) = 1,1 \times 1,3 \times 0,5 (0,55 - 0,00024 \times 850) = 0,250.$$

Визначаємо середнє значення напруження текучості:

$$\sigma_{T_{cp_{дво}}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_{дво}}} \times k_{И_{cp_{дво}}} \times k_{t_{cp_{дво}}} = 85 \times 1,20 \times 0,88 \times 0,38 = 34,1 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}; \quad (2.31)$$

$$\sigma_{T_{cp_1}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_1}} \times k_{И_{cp_1}} \times k_{t_{cp_1}} = 85 \times 1,28 \times 0,89 \times 0,47 = 45,5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_2}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_2}} \times k_{И_{cp_2}} \times k_{t_{cp_2}} = 85 \times 1,33 \times 0,92 \times 0,56 = 58,2 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_3}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_3}} \times k_{И_{cp_3}} \times k_{t_{cp_3}} = 85 \times 1,33 \times 0,97 \times 0,60 = 65,8 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_4}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_4}} \times k_{И_{cp_4}} \times k_{t_{cp_4}} = 85 \times 1,29 \times 1,01 \times 0,65 = 71,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_5}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_5}} \times k_{И_{cp_5}} \times k_{t_{cp_5}} = 85 \times 1,32 \times 1 \times 0,74 = 83 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_6}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_6}} \times k_{И_{cp_6}} \times k_{t_{cp_6}} = 85 \times 1,31 \times 1,08 \times 0,83 = 99,8 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_7}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_7}} \times k_{И_{cp_7}} \times k_{t_{cp_7}} = 85 \times 1,29 \times 1,17 \times 0,99 = 127 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_8}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_8}} \times k_{И_{cp_8}} \times k_{t_{cp_8}} = 85 \times 1,28 \times 1,3 \times 1,17 = 165,5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_9}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_9}} \times k_{И_{cp_9}} \times k_{t_{cp_9}} = 85 \times 1,26 \times 1,45 \times 1,38 = 214,3 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{T_{cp_{10}}} = \sigma_0 \times k_{E_{cp_{10}}} \times k_{И_{cp_{10}}} \times k_{t_{cp_{10}}} = 85 \times 1,25 \times 1,62 \times 1,6 = 275,4 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Визначаємо середню товщину штаби в осередку деформації:

$$h_{cp_{дуо}} = \frac{h_0 + 2h_{дуо}}{3} = \frac{200 + 2 \times 150}{3} = 166,7 \text{ мм}; \quad (2.32)$$

$$h_{cp_1} = \frac{h_{дуо} + 2h_1}{3} = \frac{150 + 2 \times 102}{3} = 118 \text{ мм};$$

$$h_{cp_2} = \frac{h_1 + 2h_2}{3} = \frac{102 + 2 \times 64,3}{3} = 76,9 \text{ мм};$$

$$h_{cp_3} = \frac{h_2 + 2h_3}{3} = \frac{64,3 + 2 \times 40,5}{3} = 48,4 \text{ мм};$$

$$h_{cp_4} = \frac{h_3 + 2h_4}{3} = \frac{40,5 + 2 \times 26,7}{3} = 43,5 \text{ мм};$$

$$h_{cp_5} = \frac{h_4 + 2h_5}{3} = \frac{26,7 + 2 \times 17,1}{3} = 20,3 \text{ мм};$$

$$h_{cp_6} = \frac{h_5 + 2h_6}{3} = \frac{17,1 + 2 \times 11,1}{3} = 13,1 \text{ мм};$$

$$h_{cp_7} = \frac{h_6 + 2h_7}{3} = \frac{11,1 + 2 \times 7,4}{3} = 8,6 \text{ мм};$$

$$h_{cp_8} = \frac{h_7 + 2h_8}{3} = \frac{7,4 + 2 \times 5}{3} = 5,8 \text{ мм};$$

$$h_{cp_9} = \frac{h_8 + 2h_9}{3} = \frac{5 + 2 \times 3,5}{3} = 4 \text{ мм};$$

$$h_{cp_{10}} = \frac{h_9 + 2h_{10}}{3} = \frac{3,5 + 2 \times 2,5}{3} = 2,8 \text{ мм}.$$

Визначаємо показник сил тертя:

$$f_{\sigma} = f_y \left(1 + 0,35 f_y \frac{l}{h_{cp}} \right); \quad (2.33)$$

$$f_{\sigma_{\text{дво}}} = f_{y_{\text{дво}}} \left(1 + 0,35 f_{y_{\text{дво}}} \frac{l_{\text{дво}}}{h_{\text{ср}_{\text{дво}}}} \right) = 0,146 \left(1 + 0,35 \times 0,146 \frac{150}{166,7} \right) = 0,152;$$

$$f_{\sigma_1} = f_{y_1} \left(1 + 0,35 f_{y_1} \frac{l_1}{h_{\text{ср}_1}} \right) = 0,152 \left(1 + 0,35 \times 0,152 \frac{150,2}{118} \right) = 0,162;$$

$$f_{\sigma_2} = f_{y_2} \left(1 + 0,35 f_{y_2} \frac{l_2}{h_{\text{ср}_2}} \right) = 0,152 \left(1 + 0,35 \times 0,152 \frac{126,6}{76,9} \right) = 0,165;$$

$$f_{\sigma_3} = f_{y_3} \left(1 + 0,35 f_{y_3} \frac{l_3}{h_{\text{ср}_3}} \right) = 0,186 \left(1 + 0,35 \times 0,186 \frac{85,9}{48,4} \right) = 0,207;$$

$$f_{\sigma_4} = f_{y_4} \left(1 + 0,35 f_{y_4} \frac{l_4}{h_{\text{ср}_4}} \right) = 0,193 \left(1 + 0,35 \times 0,193 \frac{64,4}{43,5} \right) = 0,212;$$

$$f_{\sigma_5} = f_{y_5} \left(1 + 0,35 f_{y_5} \frac{l_5}{h_{\text{ср}_5}} \right) = 0,207 \left(1 + 0,35 \times 0,207 \frac{54,6}{20,3} \right) = 0,247;$$

$$f_{\sigma_6} = f_{y_6} \left(1 + 0,35 f_{y_6} \frac{l_6}{h_{\text{ср}_6}} \right) = 0,215 \left(1 + 0,35 \times 0,215 \frac{43,1}{13,1} \right) = 0,268;$$

$$f_{\sigma_7} = f_{y_7} \left(1 + 0,35 f_{y_7} \frac{l_7}{h_{\text{ср}_7}} \right) = 0,222 \left(1 + 0,35 \times 0,222 \frac{33,9}{8,6} \right) = 0,290;$$

$$f_{\sigma_8} = f_{y_8} \left(1 + 0,35 f_{y_8} \frac{l_8}{h_{\text{ср}_8}} \right) = 0,229 \left(1 + 0,35 \times 0,229 \frac{27,3}{5,8} \right) = 0,315;$$

$$f_{\sigma_9} = f_{y_9} \left(1 + 0,35 f_{y_9} \frac{l_9}{h_{\text{ср}_9}} \right) = 0,236 \left(1 + 0,35 \times 0,236 \frac{21,6}{4} \right) = 0,341;$$

$$f_{\sigma_{10}} = f_{y_{10}} \left(1 + 0,35 f_{y_{10}} \frac{l_{10}}{h_{\text{ср}_{10}}} \right) = 0,250 \left(1 + 0,35 \times 0,250 \frac{17,6}{2,8} \right) = 0,388.$$

Визначаємо кут контакту штаби з валком:

$$\alpha_{\text{дво}} = \sqrt{\frac{50}{450}} = 0,33 \text{ рад}; \quad (2.34)$$

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{48}{475}} = 0,32 \text{ рад};$$

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{37,7}{425}} = 0,30 \text{ рад};$$

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{23,8}{310}} = 0,28 \text{ рад};$$

$$\alpha_4 = \sqrt{\frac{13,8}{310}} = 0,21 \text{ рад};$$

$$\alpha_5 = \sqrt{\frac{9,6}{310}} = 0,18 \text{ рад};$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{6}{310}} = 0,14 \text{ рад};$$

$$\alpha_7 = \sqrt{\frac{3,7}{310}} = 0,11 \text{ рад};$$

$$\alpha_8 = \sqrt{\frac{2,4}{310}} = 0,09 \text{ рад};$$

$$\alpha_9 = \sqrt{\frac{1,5}{310}} = 0,07 \text{ рад};$$

$$\alpha_{10} = \sqrt{\frac{1}{310}} = 0,06 \text{ рад}.$$

Визначаємо коефіцієнт напруженого стану:

$$n_{\sigma_{\text{дуо}}} = 1 + \frac{R_{\text{дуо}} \alpha_{\text{дуо}}}{2h_{\text{спдуо}}} \left[f_{\sigma_{\text{дуо}}} - \alpha_{\text{дуо}} \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_{\text{дуо}}}{4f_{\sigma_{\text{дуо}}}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{450 \times 0,33}{2 \times 166,7} \left[0,152 - 0,33 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,33}{4 \times 0,152} \right) \right] = 0,939; \quad (2.35)$$

$$n_{\sigma_1} = 1 + \frac{R_1 \alpha_1}{2h_{\text{сп1}}} \left[f_{\sigma_1} - \alpha_1 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_1}{4f_{\sigma_1}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{470 \times 0,32}{2 \times 118} \left[0,162 - 0,32 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,32}{4 \times 0,162} \right) \right] = 0,934;$$

$$n_{\sigma_2} = 1 + \frac{R_2 \alpha_2}{2h_{cp2}} \left[f_{\sigma_2} - \alpha_2 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_2}{4f_{\sigma_2}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{425 \times 0,30}{2 \times 76,9} \left[0,165 - 0,30 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,30}{4 \times 0,165} \right) \right] = 0,942;$$

$$n_{\sigma_3} = 1 + \frac{R_3 \alpha_3}{2h_{cp3}} \left[f_{\sigma_3} - \alpha_3 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_3}{4f_{\sigma_3}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,28}{2 \times 48,4} \left[0,207 - 0,28 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,28}{4 \times 0,207} \right) \right] = 1,017;$$

$$n_{\sigma_4} = 1 + \frac{R_4 \alpha_4}{2h_{cp4}} \left[f_{\sigma_4} - \alpha_4 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_4}{4f_{\sigma_4}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,21}{2 \times 43,5} \left[0,212 - 0,21 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,21}{4 \times 0,212} \right) \right] = 1,067;$$

$$n_{\sigma_5} = 1 + \frac{R_5 \alpha_5}{2h_{cp5}} \left[f_{\sigma_5} - \alpha_5 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_5}{4f_{\sigma_5}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,18}{2 \times 20,3} \left[0,247 - 0,18 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,18}{4 \times 0,247} \right) \right] = 1,212;$$

$$n_{\sigma_6} = 1 + \frac{R_6 \alpha_6}{2h_{cp6}} \left[f_{\sigma_6} - \alpha_6 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_6}{4f_{\sigma_6}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,14}{2 \times 13,1} \left[0,268 - 0,14 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,14}{4 \times 0,268} \right) \right] = 1,336;$$

$$n_{\sigma_7} = 1 + \frac{R_7 \alpha_7}{2h_{cp7}} \left[f_{\sigma_7} - \alpha_7 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_7}{4f_{\sigma_7}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,11}{2 \times 8,6} \left[0,290 - 0,11 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,11}{4 \times 0,290} \right) \right] = 1,482;$$

$$n_{\sigma_8} = 1 + \frac{R_8 \alpha_8}{2h_{cp8}} \left[f_{\sigma_8} - \alpha_8 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_8}{4f_{\sigma_8}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,09}{2 \times 5,8} \left[0,315 - 0,09 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,09}{4 \times 0,315} \right) \right] = 1,671;$$

$$n_{\sigma_9} = 1 + \frac{R_9 \alpha_9}{2 h_{cp9}} \left[f_{\sigma_9} - \alpha_9 \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_9}{4 f_{\sigma_9}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,07}{2 \times 4} \left[0,341 - 0,07 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,07}{4 \times 0,341} \right) \right] = 1,852;$$

$$n_{\sigma_{10}} = 1 + \frac{R_{10} \alpha_{10}}{2 h_{cp10}} \left[f_{\sigma_{10}} - \alpha_{10} \left(\frac{1}{3} + \frac{\alpha_{10}}{4 f_{\sigma_{10}}} \right) \right] =$$

$$1 + \frac{310 \times 0,06}{2 \times 2,8} \left[0,388 - 0,06 \left(\frac{1}{3} + \frac{0,06}{4 \times 0,388} \right) \right] = 2,216.$$

Визначаємо середні контактні нормальні напруження:

$$P_{cp} = \sigma_{\phi cp} n_{\sigma} = \beta \sigma_{Tcp} n_{\sigma}; \quad (2.36)$$

$$P_{cp_{дво}} = \beta \sigma_{Tcp_{дво}} n_{\sigma_{дво}} = 1,15 \times 34,1 \times 0,939 = 36,8 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_1} = \beta \sigma_{Tcp_1} n_{\sigma_1} = 1,15 \times 45,5 \times 0,934 = 48,9 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_2} = \beta \sigma_{Tcp_2} n_{\sigma_2} = 1,15 \times 58,2 \times 0,942 = 63 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_3} = \beta \sigma_{Tcp_3} n_{\sigma_3} = 1,15 \times 65,8 \times 1,017 = 76,9 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_4} = \beta \sigma_{Tcp_4} n_{\sigma_4} = 1,15 \times 71,9 \times 1,067 = 88,2 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_5} = \beta \sigma_{Tcp_5} n_{\sigma_5} = 1,15 \times 83 \times 1,212 = 115,7 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_6} = \beta \sigma_{Tcp_6} n_{\sigma_6} = 1,15 \times 99,8 \times 1,336 = 153,3 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_7} = \beta \sigma_{Tcp_7} n_{\sigma_7} = 1,15 \times 127 \times 1,482 = 216,4 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{cp_8} = \beta \sigma_{Tcp_8} n_{\sigma_8} = 1,15 \times 165,5 \times 1,671 = 318 \frac{\text{H}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{\text{ср}_9} = \beta \sigma_{\text{Тср}_9} n_{\sigma_9} = 1,15 \times 214,3 \times 1,852 = 456,4 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$P_{\text{ср}_{10}} = \beta \sigma_{\text{Тср}_{10}} n_{\sigma_{10}} = 1,15 \times 275,4 \times 2,216 = 701,8 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Визначаємо площу контакту штаби з валком:

$$F_{\text{к}} = \frac{b_0 - b_1}{2} l = b_0 l; \quad (2.37)$$

$$F_{\text{к}_{\text{дуо}}} = b_{\text{дуо}} l_{\text{дуо}} = 1243 \times 150 = 186450 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_1} = b_1 l_1 = 1260 \times 150,2 = 186252 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_2} = b_2 l_2 = 1256 \times 126,6 = 159010 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_3} = b_3 l_3 = 1252 \times 85,9 = 107547 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_4} = b_4 l_4 = 1250 \times 64,4 = 80500 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_5} = b_5 l_5 = 1250 \times 54,6 = 68250 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_6} = b_6 l_6 = 1250 \times 43,1 = 53875 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_7} = b_7 l_7 = 1250 \times 33,9 = 42375 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_8} = b_8 l_8 = 1250 \times 27,3 = 34125 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_9} = b_9 l_9 = 1250 \times 21,6 = 27000 \text{ мм}^2;$$

$$F_{\text{к}_{10}} = b_{10} l_{10} = 1250 \times 17,6 = 22000 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо силу прокатки:

$$P_{\text{дуо}} = P_{\text{ср}_{\text{дуо}}} \times F_{\text{к}_{\text{дуо}}} \times 10^{-6} = 36,8 \times 186450 \times 10^{-6} = 6,86 \text{ МН}; \quad (2.38)$$

$$P_1 = P_{\text{ср}_1} \times F_{\text{к}_1} \times 10^{-6} = 48,9 \times 186252 \times 10^{-6} = 9,10 \text{ МН};$$

$$P_2 = P_{\text{ср}_2} \times F_{\text{к}_2} \times 10^{-6} = 63 \times 159010 \times 10^{-6} = 10,01 \text{ МН};$$

$$P_3 = P_{\text{ср}_3} \times F_{\text{к}_3} \times 10^{-6} = 76,9 \times 107547 \times 10^{-6} = 8,27 \text{ МН};$$

$$\begin{aligned}
 P_4 &= P_{cp4} \times F_{K4} \times 10^{-6} = 88,2 \times 80500 \times 10^{-6} = 7,10 \text{ МН}; \\
 P_5 &= P_{cp5} \times F_{K5} \times 10^{-6} = 115,7 \times 68250 \times 10^{-6} = 7,89 \text{ МН}; \\
 P_6 &= P_{cp6} \times F_{K6} \times 10^{-6} = 153,3 \times 53875 \times 10^{-6} = 8,26 \text{ МН}; \\
 P_7 &= P_{cp7} \times F_{K7} \times 10^{-6} = 216,4 \times 42375 \times 10^{-6} = 9,17 \text{ МН}; \\
 P_8 &= P_{cp8} \times F_{K8} \times 10^{-6} = 318 \times 34125 \times 10^{-6} = 10,85 \text{ МН}; \\
 P_9 &= P_{cp9} \times F_{K9} \times 10^{-6} = 456,4 \times 27000 \times 10^{-6} = 12,32 \text{ МН}; \\
 P_{10} &= P_{cp10} \times F_{K10} \times 10^{-6} = 701,8 \times 22000 \times 10^{-6} = 15,44 \text{ МН}.
 \end{aligned}$$

Визначаємо момент і потужність по силі прокатки

Визначаємо коефіцієнт δ :

$$\delta_{\text{дуо}} = \frac{2f_{y\text{дуо}} l_{\text{дуо}}}{\Delta h_{\text{дуо}}} = \frac{2 \times 0,146 \times 150}{50} = 0,88; \quad (2.39)$$

$$\delta_1 = \frac{2f_{y1} l_1}{\Delta h_1} = \frac{2 \times 0,152 \times 150,2}{48} = 0,95;$$

$$\delta_2 = \frac{2f_{y2} l_2}{\Delta h_2} = \frac{2 \times 0,152 \times 126,6}{37,7} = 1,02;$$

$$\delta_3 = \frac{2f_{y3} l_3}{\Delta h_3} = \frac{2 \times 0,186 \times 85,9}{23,8} = 1,34;$$

$$\delta_4 = \frac{2f_{y4} l_4}{\Delta h_4} = \frac{2 \times 0,193 \times 64,4}{13,8} = 1,80;$$

$$\delta_5 = \frac{2f_{y5} l_5}{\Delta h_5} = \frac{2 \times 0,207 \times 54,6}{9,6} = 2,35;$$

$$\delta_6 = \frac{2f_{y6} l_6}{\Delta h_6} = \frac{2 \times 0,215 \times 43,1}{6} = 3,09;$$

$$\delta_7 = \frac{2f_{y7} l_7}{\Delta h_7} = \frac{2 \times 0,222 \times 33,9}{3,7} = 4,07;$$

$$\delta_8 = \frac{2f_{y_8}l_8}{\Delta h_8} = \frac{2 \times 0,229 \times 27,3}{2,4} = 5,20;$$

$$\delta_9 = \frac{2f_{y_9}l_9}{\Delta h_9} = \frac{2 \times 0,236 \times 21,6}{1,5} = 6,80;$$

$$\delta_{10} = \frac{2f_{y_{10}}l_{10}}{\Delta h_{10}} = \frac{2 \times 0,250 \times 17,6}{1} = 8,80.$$

Визначаємо коефіцієнт плеча сили прокатки:

$$\Psi_{\text{дво}} = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_{\text{дво}}}{h_{\text{спдво}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{150}{166,7} = 0,472; \quad (2.40)$$

$$\Psi_1 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_1}{h_{\text{сп1}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{150,2}{118} = 0,462;$$

$$\Psi_2 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_2}{h_{\text{сп2}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{126,6}{76,9} = 0,451;$$

$$\Psi_3 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_3}{h_{\text{сп3}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{85,9}{48,4} = 0,447;$$

$$\Psi_4 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_4}{h_{\text{сп4}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{64,4}{43,5} = 0,456;$$

$$\Psi_5 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_5}{h_{\text{сп5}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{54,6}{20,3} = 0,423;$$

$$\Psi_6 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_6}{h_{\text{сп6}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{43,1}{13,1} = 0,405;$$

$$\Psi_7 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_7}{h_{\text{сп7}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{33,9}{8,6} = 0,386;$$

$$\Psi_8 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_8}{h_{\text{сп8}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{27,3}{5,8} = 0,365;$$

$$\Psi_9 = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_9}{h_{\text{сп9}}} = 0,498 - 0,0283 \frac{21,6}{4} = 0,345;$$

$$\Psi_{10} = 0,498 - 0,0283 \frac{ld_{10}}{h_{cp10}} = 0,498 - 0,0283 \frac{17,6}{2,8} = 0,320.$$

Визначаємо момент прокатки:

$$\begin{aligned} 2M_{np_{дво}} &= \frac{2P \times \Psi_{дво} \times ld_{дво}}{i} = \\ &= \frac{2 \times 6860 \times 0,472 \times 0,150}{1} = 971,4 \text{ кНм}; \quad (2.41) \\ 2M_{np_1} &= \frac{2P \times \Psi_1 \times ld_1}{i} = \\ &= \frac{2 \times 9100 \times 0,462 \times 0,1502}{1} = 1262,9 \text{ кНм}; \\ 2M_{np_2} &= \frac{2P \times \Psi_2 \times ld_2}{i} = \\ &= \frac{2 \times 10010 \times 0,451 \times 0,1266}{1} = 1143,1 \text{ кНм}; \\ 2M_{np_3} &= \frac{2P \times \Psi_3 \times ld_3}{i} = \\ &= \frac{2 \times 8270 \times 0,447 \times 0,0859}{1} = 667,8 \text{ кНм}; \\ 2M_{np_4} &= \frac{2P \times \Psi_4 \times ld_4}{i} = \\ &= \frac{2 \times 7100 \times 0,456 \times 0,0644}{1} = 512,1 \text{ кНм}; \\ 2M_{np_5} &= \frac{2P \times \Psi_5 \times ld_5}{i} = \\ &= \frac{2 \times 7890 \times 0,423 \times 0,0546}{1} = 364,5 \text{ кНм}; \end{aligned}$$

$$2M_{np6} = \frac{2P \times \Psi_6 \times ld_6}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 8260 \times 0,405 \times 0,0431}{1} = 288,4 \text{ кНм};$$

$$2M_{np7} = \frac{2P \times \Psi_7 \times ld_7}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 9170 \times 0,386 \times 0,0339}{1} = 239,9 \text{ кНм};$$

$$2M_{np8} = \frac{2P \times \Psi_8 \times ld_8}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 10850 \times 0,365 \times 0,0273}{1} = 216,2 \text{ кНм};$$

$$2M_{np9} = \frac{2P \times \Psi_9 \times ld_9}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 12320 \times 0,345 \times 0,0216}{1} = 183,6 \text{ кНм};$$

$$2M_{np10} = \frac{2P \times \Psi_{10} \times ld_{10}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 15440 \times 0,320 \times 0,0176}{1} = 173,9 \text{ кНм}.$$

Визначаємо повний момент сил тертя:

$$M'_{трдуо} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i \eta} \times \frac{D_p}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{npдуо}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 6860 \times 0,003 \times 0,528}{1 \times 0,96} \times \frac{0,90}{1} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{917,4}{1} = 58,6 \text{ кНм}; \quad (2.42)$$

$$M'_{тр1} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{оп}}{i \eta} \times \frac{D_p}{D_{оп}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{np1}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 9100 \times 0,003 \times 0,528}{1 \times 0,96} \times \frac{0,94}{1,32} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{1262,9}{1} = 68 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тп}_2} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тп}_2}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 10010 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,85}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{1143,1}{1} = 63,5 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тп}_3} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тп}_3}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 8270 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{667,8}{1} = 40,8 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тп}_4} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тп}_4}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 7100 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{512,1}{1} = 32,5 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тп}_5} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тп}_5}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 7890 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{364,5}{1} = 27,5 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тп}_6} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тп}_6}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 8260 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{288,4}{1} = 24,9 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тп}_7} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тп}_7}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 9170 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{239,9}{1} = 24,3 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тp}_8} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тp}_8}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 10850 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{216,2}{1} = 25,9 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тp}_9} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тp}_9}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 12320 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{183,6}{1} = 26,8 \text{ кНм};$$

$$M'_{\text{тp}_{10}} = \frac{2P \times f_n \times \rho_{\text{оп}}}{i\eta} \times \frac{D_p}{D_{\text{оп}}} + \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \times \frac{2M_{\text{тp}_{10}}}{i} =$$

$$= \frac{2 \times 15440 \times 0,003 \times 0,496}{1 \times 0,96} \times \frac{0,62}{1,24} + \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \times \frac{173,9}{1} = 31,2 \text{ кНм}.$$

Визначаємо момент холостого ходу:

$$M_{\text{хол}_\text{дво}} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_\text{дво}} = 0,06 \times 917,4 = 55 \text{ кНм}; \quad (2.43)$$

$$M_{\text{хол}_1} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_1} = 0,06 \times 1262,9 = 75,8 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_2} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_2} = 0,06 \times 1143,1 = 68,6 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_3} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_3} = 0,06 \times 667,8 = 40,1 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_4} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_4} = 0,06 \times 512,1 = 30,7 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_5} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_5} = 0,06 \times 364,5 = 21,9 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_6} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_6} = 0,06 \times 288,4 = 17,3 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_7} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_7} = 0,06 \times 239,9 = 14,4 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_8} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_8} = 0,06 \times 216,2 = 13 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_9} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_9} = 0,06 \times 183,6 = 11 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{хол}_{10}} = 0,06 \times 2M_{\text{тp}_{10}} = 0,06 \times 173,9 = 10,4 \text{ кНм}.$$

Визначаємо момент на волю двигуна:

$$M_{дв_{дуо}} = 2M_{пр_{дуо}} + M'_{тр_{дуо}} + M_{хол_{дуо}} = 971,4 + 58,6 + 55 = 1085 \text{ кНм}; \quad (2.44)$$

$$M_{дв_1} = 2M_{пр_1} + M'_{тр_1} + M_{хол_1} = 1262,9 + 68 + 75,8 = 1406 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_2} = 2M_{пр_2} + M'_{тр_2} + M_{хол_2} = 1143,1 + 63,5 + 40,1 = 1247 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_3} = 2M_{пр_3} + M'_{тр_3} + M_{хол_3} = 667,8 + 40,8 + 40,1 = 749 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_4} = 2M_{пр_4} + M'_{тр_4} + M_{хол_4} = 512,1 + 32,5 + 30,7 = 575 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_5} = 2M_{пр_5} + M'_{тр_5} + M_{хол_5} = 364,5 + 27,5 + 21,9 = 414 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_6} = 2M_{пр_6} + M'_{тр_6} + M_{хол_6} = 288,4 + 24,9 + 17,3 = 331 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_7} = 2M_{пр_7} + M'_{тр_7} + M_{хол_7} = 239,9 + 24,3 + 14,4 = 279 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_8} = 2M_{пр_8} + M'_{тр_8} + M_{хол_8} = 216,2 + 25,9 + 13 = 255 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_9} = 2M_{пр_9} + M'_{тр_9} + M_{хол_9} = 183,6 + 26,8 + 11 = 221 \text{ кНм};$$

$$M_{дв_{10}} = 2M_{пр_{10}} + M'_{тр_{10}} + M_{хол_{10}} = 173,9 + 31,2 + 10,4 = 216 \text{ кНм}.$$

Визначаємо потужність двигуна:

$$N_{дв_{дуо}} = M_{дв_{дуо}} \times \frac{V_{дуо}}{R_{дуо}} = 1085 \times \frac{0,94}{0,450} = 2266 \text{ кВт}; \quad (2.45)$$

$$N_{дв_1} = M_{дв_1} \times \frac{V_1}{R_1} = 1406 \times \frac{1,09}{0,470} = 3260 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_2} = M_{дв_2} \times \frac{V_2}{R_2} = 1247 \times \frac{1,13}{0,425} = 3316 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_3} = M_{дв_3} \times \frac{V_3}{R_3} = 749 \times \frac{1,62}{0,310} = 3914 \text{ кВт};$$

$$N_{дв_4} = M_{дв_4} \times \frac{V_4}{R_4} = 575 \times \frac{2,11}{0,310} = 3914 \text{ кВт};$$

$$N_{дв5} = M_{дв5} \times \frac{V_5}{R_5} = 414 \times \frac{1,46}{0,310} = 1950 \text{ кВт};$$

$$N_{дв6} = M_{дв6} \times \frac{V_6}{R_6} = 331 \times \frac{2,25}{0,310} = 2402 \text{ кВт};$$

$$N_{дв7} = M_{дв7} \times \frac{V_7}{R_7} = 279 \times \frac{3,38}{0,310} = 3042 \text{ кВт};$$

$$N_{дв8} = M_{дв8} \times \frac{V_8}{R_8} = 255 \times \frac{5}{0,310} = 4113 \text{ кВт};$$

$$N_{дв9} = M_{дв9} \times \frac{V_9}{R_9} = 221 \times \frac{7,14}{0,310} = 5090 \text{ кВт};$$

$$N_{дв10} = M_{дв10} \times \frac{V_{10}}{R_{10}} = 216 \times \frac{10}{0,310} = 6968 \text{ кВт};$$

Розрахунок енерго – силових параметрів приведений в (таб. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахунок енерго – силових параметрів

Тип кліті	$\sigma_{\text{ср}}$ Н/мм ²	$P_{\text{ср}}$ Н/мм ²	P МН	$2M_{\text{пр}}$ кНм	N кВт
Дуо	34,1	36,8	6,86	1243	2266
1	45,5	48,9	9,10	1260	3260
2	58,2	63	10,01	1256	3316
3	65,8	76,9	8,27	1252	3914
4	71,9	88,2	7,10	1250	3914
5	83	115,7	7,89	1250	1950
6	99,8	153,3	8,26	1250	2402
7	127	216,4	9,17	1250	3042
8	165,5	318	10,85	1250	4113
9	214,3	456,4	12,32	1250	5090
10	275,4	701,8	15,44	1250	6968

Графічний аналіз результатів розрахунку енерго – силових параметрів представлений на (рис. 2.3 ; 2.4 ; 2.5).

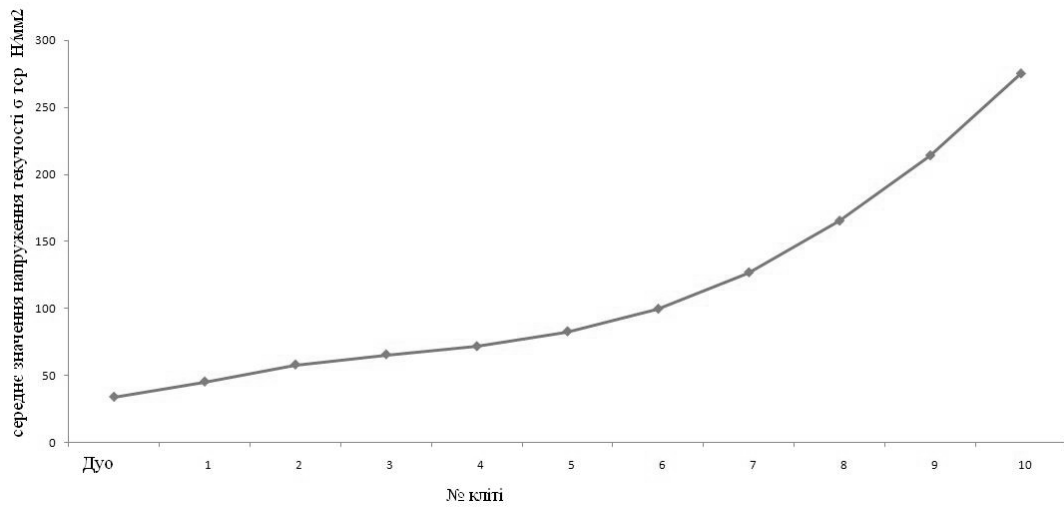


Рисунок 2.3 – Графічний аналіз середнього значення напруження текучості

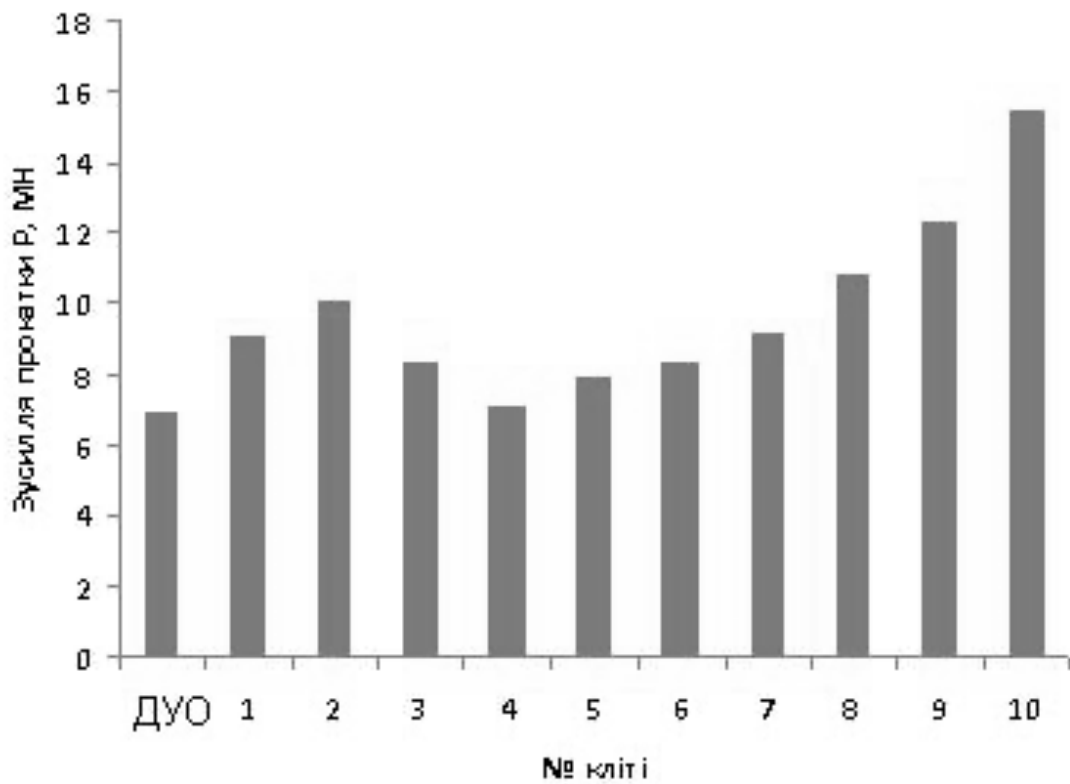


Рисунок 2.4 – Графічний аналіз сили прокатки

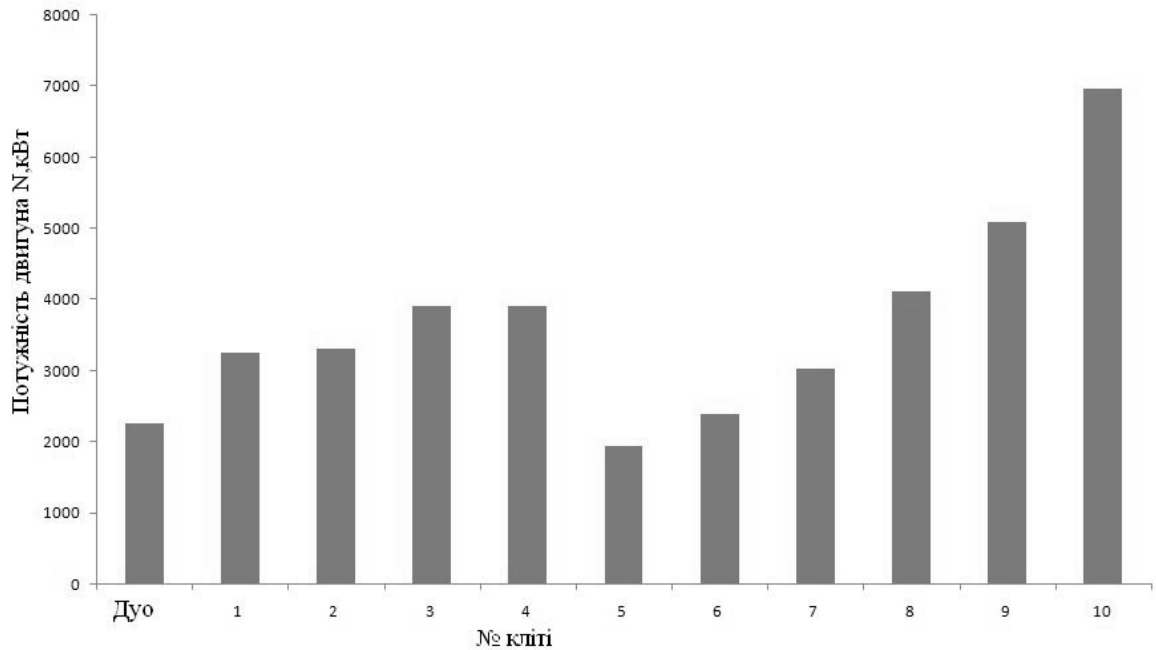


Рисунок 2.5 – Графічний аналіз потужність двигуна

2.3 Розрахунок продуктивності стана

$$A_{\text{час}} = \frac{3600 \times G \times k_2}{T \times k_1}; \quad (2.46)$$

де G - маса злитка ; T – ритм прокатки; $t_{\text{п}} = 14$ с – час пауз;

k_1 – витратний коефіцієнт, для сталі; $k_1 = 1,039$;

k_2 – коефіцієнт використання стана; $k_2 = 0,96$.

Визначаємо масу сляба:

$$G = V \times \rho; \quad (2.47)$$

$$V = h_0 \times b_0 \times l_0 = 0,200 \times 1,230 \times 7 = 1,722 \text{ м}^3;$$

$$G = 1,722 \times 7,81 = 13,5 \text{ т.}$$

Визначаємо час прокатки у 10 кліті:

$$t_{m_{10}} = \frac{l_{10}}{V_{10}}; \quad (2.48)$$

$$t_{m_{10}} = \frac{542,8}{10} = 54,3 \text{ с.}$$

$$\text{де } l_{10} = 542,8 \text{ м; } V_{10} = 10 \text{ м/с;}$$

Визначаємо ритм прокатки:

$$T = t_m + t_p; \quad (2.49)$$

$$T = 54,3 + 14 = 68,3 \text{ с.}$$

Визначаємо продуктивність стану за годину:

$$A_{\text{час}} = \frac{3600 \times 13,5 \times 0,96}{68,3 \times 1,039} = 658 \text{ т/ч.}$$

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок валків на міцність

Дані взяті з розрахунка спеціальної частині: $P = 15,44$ МН, в 10 – й кліті; $M_{np} = 0,087$ МН \times м; $M_{тер} = 0,009$ МН \times м; $M_{об} = 0,096$ МН \times м.

$$D_{он} = 1240 \text{ мм} \quad d_{он} = 650 \text{ мм} \quad l_{ш}^I = 380 \text{ мм}$$

$$D_p = 620 \text{ мм} \quad d_p = 395 \text{ мм} \quad l_{ш} = 650 \text{ мм}$$

Розрахункова схеми валків кліті кварто представлено на (рис. 3.1)

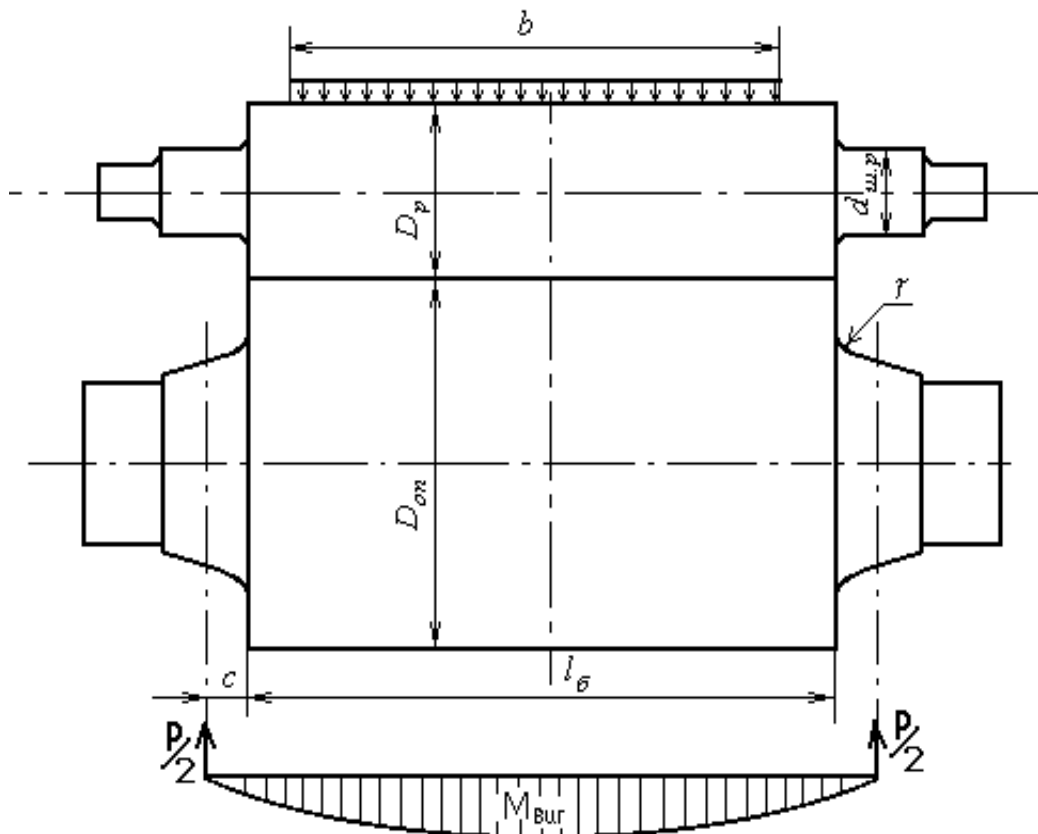


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема валків кліті кварто

Визначаємо відстань між опорами робочих валків:

де l'_6 - довжина бочки робочого валка;

$l'_{ш}$ - довжина шийки робочого валка;

$$a' = \left(l'_6 + \frac{1}{2} l'_{ш} + \frac{1}{2} l'_{ш} \right) = 1,68 + \frac{1}{2} 0,38 + \frac{1}{2} 0,38 = 2,06 \text{ м.} \quad (3.1)$$

Визначаємо відстані між опорами опорних валків:

де l_6 - довжина бочки опорного валка;

$l_{ш}$ - довжина шийки опорного валка;

$$a = \left(l_6 + \frac{1}{2} l_{ш} + \frac{1}{2} l_{ш} \right) = 1,68 + \frac{1}{2} 0,65 + \frac{1}{2} 0,65 = 2,33 \text{ м.} \quad (3.2)$$

Розподіл зусилля між робочими та опорними валками:

$$K = \left(\frac{D_{оп}}{D_p} \right)^4 = \left(\frac{1240}{620} \right)^4 = 16. \quad (3.3)$$

Визначаємо зусилля, яка діє на робочий валок:

$$P_p = \frac{P}{(1+K)} = \frac{15,44}{1+16} = 0,91 \text{ МН.} \quad (3.4)$$

Визначаємо зусилля, яка діє на опорний валок:

$$P_{оп} = P - P_p = 15,44 - 0,908 = 14,53 \text{ МН.} \quad (3.5)$$

Визначаємо згинаючий момент посередині бочки робочого валка:

$$M_p = P_p \times \frac{a'}{8} = 0,91 \times \frac{2,06}{8} = 0,23 \text{ МН}\times\text{м.} \quad (3.6)$$

Визначаємо максимальну згинаючу напругу у середині бочки робочого валка:

$$\sigma = \frac{M_p}{W_x} = \frac{M_p}{0,1 \times D_p^3} = \frac{0,23}{0,1 \times 0,62^3} = 9,58 \text{ МПа.} \quad (3.7)$$

Визначаємо згинаючий момент в небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$M_{ш} = P_p \times \frac{a' \times L}{4} = 0,91 \times \frac{2,06 - 1,68}{4} = 0,059 \text{ МН}\times\text{м.} \quad (3.8)$$

Визначаємо згинаючу напругу у небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$\sigma_{ш} = \frac{M_{ш}}{W_{ш}} = \frac{M_{ш}}{0,1 \times d_p^3} = \frac{0,059}{0,1 \times 0,395^3} = 9,83 \text{ МПа.} \quad (3.9)$$

Визначаємо дотичну напругу при крученні у небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$\tau_{ш} = \frac{M_k}{W_{рш}} = \frac{M_{ш}}{0,2 \times d_p^3} = \frac{0,096}{0,2 \times 0,395^3} = 8 \text{ МПа.} \quad (3.10)$$

Визначаємо результуючу напругу при крученні у небезпечному перерізі шийки робочого валка:

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma_{\text{ш}}^2 + 3 \times \tau_{\text{ш}}^2} = \sqrt{96,6 + 3 \times 64} = 17 \text{ МПа.} \quad (3.11)$$

Визначаємо запас міцності робочого валка:

$\sigma_{\text{в}} = 400 \text{ МПа}$ – запас міцності для чавунних валків

$$n_{\text{р}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{рез}}} = \frac{400}{17} = 23,5; \quad (3.12)$$

$$n_{\text{р}} > [n] = 5.$$

Визначаємо згинаючий момент посередині бочки опорного валка:

$$M_{\text{оп}} = \frac{P_{\text{оп}}}{4} \times \left(a - \frac{b}{2} \right) = \frac{14,53}{4} \times \left(2,33 - \frac{1,2}{2} \right) = 6,3 \text{ МН} \times \text{м.} \quad (3.13)$$

Визначаємо згинаючу напругу посередині бочки опорного валка:

$$\sigma_{\text{оп}} = \frac{M_{\text{оп}}}{W_{\text{оп}}} = \frac{M_{\text{оп}}}{0,1 \times D_{\text{оп}}^3} = \frac{6,3}{0,1 \times 1,24^3} = 33,2 \text{ МПа.} \quad (3.14)$$

Визначаємо згинаючий момент у небезпечному перерізі шийки опорного валка:

$$M_{\text{ш.оп}} = P_{\text{оп}} \times \frac{a-L}{4} = 14,53 \times \frac{2,33-1,68}{4} = 2,36 \text{ МН} \times \text{м.} \quad (3.15)$$

Визначаємо згинаючу напругу у небезпечному перерізі шейки опорного валка:

$$\sigma_{\text{ш.оп}} = \frac{M_{\text{ш.оп}}}{0,1 \times d_{\text{ш}}^3} = \frac{2,36}{0,1 \times 0,65^3} = 84,3 \text{ МПа.} \quad (3.16)$$

Визначаємо запас міцності опорного валка:

$$n_{\text{оп}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{ш.оп}}} = \frac{600}{84,3} = 7,12; \quad (3.17)$$

$$n_{\text{оп}} > [n] = 5.$$

Визначаємо момент інерції перерізу бочки валка:

$$J_1 = \frac{\pi \times D^4}{64} = \frac{3,14 \times 1,24^4}{64} = 0,12 \text{ м}^4. \quad (3.18)$$

Визначаємо момент інерції перерізу шийки валка:

$$J_2 = \frac{\pi \times d^4}{64} = \frac{3,14 \times 0,65^4}{64} = 0,0088 \text{ м}^4. \quad (3.19)$$

Визначаємо прогин в результаті дії згинальних моментів:

$$f_1 = \frac{P}{384 \times E \times J_1} \times [8a^3 - 4 \times a \times b^2 + b^3 + 64 \times c^3 \left(\frac{J_1}{J_2} - 1 \right)]; \quad (3.20)$$

$$f_1 = \frac{15,44 \times 10^6}{384 \times 2,1 \times 10^{11} \times 0,12}$$

$$[8 \times 2,33^3 - 4 \times 2,33 \times 1,25^2 + 1,25^3 + 64 \times 0,395^3 \left(\frac{0,12}{0,0088} - 1 \right)] = 0,22 \text{ мм.}$$

Визначаємо прогин в слідстві дії поперечних сил:

$$f_2 = \frac{P}{\pi \times G \times D^2} \times \left[a - \frac{b}{2} + 2c \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right) \right]; \quad (3.21)$$

$$f_2 = \frac{15,44 \times 10^6}{3,14 \times 0,82 \times 10^{11} \times 1,24^2} \times \left[2,33 - \frac{1,25}{2} + 2 \times 0,395 \left(\frac{1,24^2}{0,65^2} - 1 \right) \right] = 0,15 \text{ мм.}$$

Визначаємо сумарний прогин опорного валка по середині бочки:

$$f = f_1 + f_2 = 0,22 + 0,15 = 0,37 \text{ мм.} \quad (3.22)$$

Для компенсації впливу прогину на товщину штаби один з робочих валків (необхідно зробити опуклим) шорсткість з опуклістю (0,3-0,5)

3.2 Розрахунок на міцність валу барабана змотувача

Дано вага рулону 135кн (13,5 т); вага барабана змотувача 120 кн (12 т); сумарна вага діючий вниз, $135 + 120 = 255$ кн (25,5 т). Приймаємо, що натягу штаби $T = 25$ кн (2,5 т) направлено горизонтально; тоді результуюча навантаження, що діє на барабан змотувача:

$$Q = \sqrt{255^2 + 25^2} \approx 256 \text{ кн (25,6 т).} \quad (3.23)$$

Схема робочої лінії змотувача приведена на (рис.3.2).

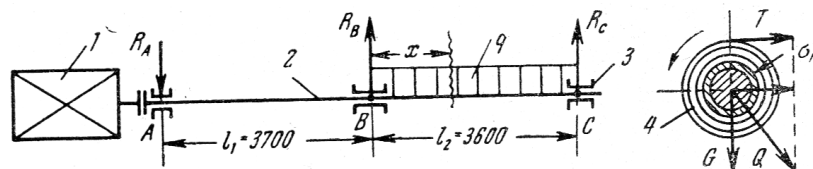


Рисунок 3.2 – Схема робочої лінії змотувача

1.електродвигун; 2. вал барабана; 3. додаткова (поворотна) опора; 4.рулон штаби.

Вважаємо, що поворотна опора щільно прилягає до кінця консольного валу барабана моталки і сприймає опорну реакцію; тоді розрахункова схема може бути представлена у вигляді трьох опорної балки з розподіленим навантаженням:

$$q = \frac{Q}{l_2} = \frac{256}{3,6} = 71 \text{ кН/м.} \quad (3.24)$$

Застосовуючи рівняння трьох моментів одержимо:

$$2M_n \times (l_n + l_{n+1}) = -6w_{n+1} \frac{b_n + 1}{l_n + 1}; \quad (3.25)$$

$$l_n = l_1; l_{n+1} = l_2; b_{n+1} = l_2/2;$$

моментная площа $w_{n+1} = w_2 = \frac{2}{3} \times \frac{q \times l_2^2}{8} \times l_2$, тому:

$$2M_B \times (l_1 + l_2) = -\frac{q \times l_2^3}{4};$$

$$M_B = -\frac{q \times l_2^3}{8 \times (l_1 + l_2)} = \frac{71 \times 3,6^3}{8 \times (3,7 + 3,6)} = -56,7 \text{ кН}\times\text{м} (-5,67 \text{ Т}\times\text{м});$$

$$R_a = -\frac{M_B}{l_1} = -\frac{56,7}{3,7} = -15,3 \text{ кН} (-1,53 \text{ Т});$$

$$R_c = \frac{q l_2}{2} + \frac{M_B}{l_2} = \frac{71 \times 3,6}{2} - \frac{56,7}{3,6} = 112,1 \text{ кН} (11,21 \text{ Т});$$

$$R_B = q l_2 - R_a - R_c = 71 \times 3,6 + 15,3 - 112,1 = 158,8 \text{ кН} (15,88 \text{ Т}).$$

Момент вигину в будь-якому перетині x :

$$M_x = R_c x - \frac{q x^2}{2} \quad x = R_c x - \frac{q x^2}{2}. \quad (3.26)$$

Для знаходження максимуму прирівнюємо похідну нулю:

$$R_c - qx = 0;$$

$$x = \frac{R_c}{q} = \frac{112,1}{71} = 1,58 \text{ м};$$

$$M_{\max} = 112,1 \times 1,58 - \frac{71 \times 1,58^2}{2} = 88,5 \text{ кН}\times\text{м} (8,85 \text{ Т}). \quad (3.27)$$

Момент опору перерізу валу барабана в прольоті l_2 :

$$W_{\text{из}} = 0,1 \times d_{\text{ср}}^3 \approx 0,1 \times 400^3 = 6,4 \times 10^6 \text{ мм}^3. \quad (3.28)$$

де $d = 400$ мм - середній (умовний) діаметр валу в перерізі $x = 1,58$ м, що має складну конфігурацію.

Напруга вигину в перетині $x = 1,58$ м при $\kappa_\sigma = 4,5$:

$$\sigma = 4,5 \times \frac{88,5 \times 10^6}{6,4 \times 10^6} = 62,2 \text{ н/мм}^2 (622 \text{ кг/см}^2). \quad (3.29)$$

Максимальний обертовий момент на валу барабана змотувача, рівний номінальному моменту електродвигуна (при $i = 1$):

$$M_{\text{кр}} = 9,56 \times \frac{N}{n} = 9,56 \times \frac{3800}{500} = 72,5 \text{ кН}\times\text{м} (7,25 \text{ Т}\times\text{м}). \quad (3.30)$$

Напруга крутіння в цьому перетині при $W_{\text{кр}} = 2W_{\text{из}}$ и $\kappa_\tau = 2,3$:

$$\tau = 2,3 \times \frac{72,5 \times 10^6}{2 \times 6,4 \times 10^6} = 13 \text{ н/мм}^2 (1,3 \text{ кг/мм}^2). \quad (3.31)$$

Результуюча напруга:

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{62,2^2 + 3 \times 13^2} = 66,2 \text{ н/мм}^2 \text{ (662 кг/см}^2\text{)}. \quad (3.32)$$

Вал виготовлений з кованої сталі марки 35ХНВ, для якої $\sigma_b = 1000 \text{ н/мм}^2$ (100 кг/мм²), запас міцності становить:

$$n = \frac{1000}{66,2} = 15,1. \quad (3.33)$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

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

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

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

На виробництві застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці: огорожувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною і небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або не правильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів – відключення устаткування при порушенні контрольованого параметра (температури, тиску, переміщення, величини струму або напруги, зусилля); гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машин і устаткування; блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою або небезпекою, що наступила (світлова, звукова, кольорова і знакова). Велике значення має правильний розподіл функції між людиною і машиною для зменшення ваги праці [16].

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

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

Дані показники роботи робітників показують, що на стані використовують професії змішаної праці [17].

Рівень механізації праці визначається з вираження:

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

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

Рівень механізації праці для оператора:

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

Рівень механізації праці для вальцювальника:

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

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.1.

4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки ставляться [16, 17, 19]:

- інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на зорові органи людини (300 - 4000 Вт/м);

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

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

- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 83,3% робітника часу впливають на внутрішні органи людини;
- пил, виділюваний при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, які протягом 91,4% робітника часу впливають на слизову оболонку органів подиху, що приводять к захворюванням;

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в таблиці 4.2.

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

Таблиця 4.2 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Факти ч. знач.	III клас вредн. і опасн. усл. і характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ :						
	<u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		90
	<u>III-IV клас небезпеки</u>						
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
2.	Масла мінеральні	5	6,78	1,36			90
	Пил переважно фиброгенного дії, мг/м ³	4	26,3			6,58	90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4.	Шум, дБ						
5.	Інфразвук, дБ	80	105			25	100
6.	Ультразвук, дБ						
7.	Неіонізуюче випромінювання:						
	- радіочастотний діапазон, В/м						
	- діапазон промислової частоти, кв/м						
	- оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ³						
8.	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря, °С	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	<0,3				
	- відносна вологість повітря, %	55	32				
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м ³	140	411		411		83
9.	Температура навколишнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), °С						
	улітку						
10.	узимку						
11.	Атмосферний тиск						
	Вага і напруженість праці						

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

4.3 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиделення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний отсос пар, що утворилися	Над станом
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огороження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами.	На панелях пульта керування

Метал що переміщається	Огородження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки	Захист від травм під час руху й переміщення металу	На території небезпечної зони
------------------------	---	--	-------------------------------

4.4 Технічні рішення по виробничій санітарії

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання і відводу стічних і поверхневих вод.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розходи якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шумів і інших шкідливих факторів. Передбачає заходи, що зменшують їхній несприятливий впливи на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, і робочій зоні приміщень [16].

Освітленість у цеху

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

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

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

Найменша освітленість робочих поверхонь потребуючі обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого висвітлення, але не менш 2лк. Аварійне висвітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5лк [19].

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

Мікроклімат

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

Для огороження припливу холодного повітря під час в'їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20 °С [20].

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилу – незначне. Ділянка стана БШСГП 1680 ставиться до Іа групи: для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції:

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використовуються також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), те передбачена система приточної вентиляції.

Санітарно - побутові приміщення

Створення прийнятних санітарно-побутових умов у приміщеннях у значній мірі попереджають захворювання працюючого персоналу. Будинок побутових приміщень 3-х поверхове. Висота поверхів більше 3-х метрів. Відношення площі вікон до площі підлоги 1:5 ... 1:9, що забезпечує достатню освітленість приміщень. Робочий і чистий одяг зберігається в закритих подвійних шафах. Ширина проходів між шафами не менш 1м. Душові кабінки площею 6,8 м² на одну душову установку [17].

Електробезпека

Електробезпека – це комплекс мер, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом.

Вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідки і навіть привести до смерті. Небезпека збільшується тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлене за допомогою наших органів почуттів. Імовірність смертельного результату при поразках електричним струмом велика. Великий вплив робить зовнішнє середовище.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП 111-33-76 ставиться до зони класу В-16 – це зона, розташовані в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВЖ із повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

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

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5,9 \text{ А}$, напруги відповідно $U = 220\text{-}380 \text{ В}$ [20].

Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

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

Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або вплив при помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, які випадково оказались під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, які випадково оказались під напругою; при впливі крокових напруг і др.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне устаткування: електричний привод (включаючи пускорегулюючу апаратури), електроустаткування під'їмо-транспортних пристроїв, електрифікований

внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д [21].

Заходи захисту від поразки електричним струмом

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

- а) захист від дотику до струмоведучих частин;
- б) захист від дотику до встаткування, які випадково оказались під напругою;
- в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огороження і ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, які оказались випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпека поразки дотику до них людини [18].

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустановки до заземлюючого нульового проведення; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проведеннями, викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більше 0,2 с, при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі з появою напруги на корпусі і інших металевих частинах, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основного ставляться захисні засоби, ізоляція

яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін. [20].

Вибір схеми мережі

Прокатний цех ставиться до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32°C) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК) струмопровідним пилом, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на, вищевикладене зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

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

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпроводна мережа із глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотирьохпроводної мережі 380 В можна житися як силове навантаження – трьохфазне або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів [21].

4.5 Заходи щодо пожежної безпеки

Приміщення цеху по ОНТП 24-86 ставляться до категорії «Г» по пожежобезпечності, це викликано тим, що в цеху має місце наявність пожежонебезпечних факторів, пов'язаних із застосуванням газових сумішей IV групи для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізі металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах запалюються. Для гасіння виниклих пожеж передбачені пожежні щити, розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені системи блокування поширення пожежі.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені виходи припустимої довжини і ширини, розходи дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідна число сходових кліток і пожежних сходів [20].

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії виробництва, площі і висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленого матеріалу. Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи. У цеху застосовується пожежне водопостачання в якому витрата води на зовнішнє водопостачання 15 л/с.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну і повітряно-механічну піни, пісок.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються і пінні вогнегасники типу ВХП-10; ВВП-5; ВВП-10, у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах [21].

4.6 Заходи щодо захисту навколишнього середовища

Цех гарячої прокатки сортового металу є основним споживачем води (72 млн.м³/рік) і є джерелом забруднення води окалиною і маслами. Застосовувані методи очищення маслоокалинозмістовних вод, у тому числі з використанням реагентів приводить до утворення замасленого (до 10-20%) осаду дрібнодисперсної окалини. Замаслений і обводнений залізовмісний шлам, втрачаючи сипкість, злежується і налипає на ринви, бункери та дозуючі пристрої. Тим часом окалини є коштовною металургійною сировиною, використовуваною в сталеплавильному виробництві і порошковій металургії [20].

Після введення в експлуатації очисних споруджень зворотного циклу водопостачання, запропоноване введення неіоногенних поверхньоактивних речовин (НПАВ), що у свою чергу приведе до зневоднювання і знемаслювання окалини. З погляду санітарії виробництва потрібно відзначити, що після введення НПАВ у воду подавану на гарячепрокатний стан зменшиться виділення пилу, за рахунок змочування поверхневого шару (шаруючи окалини) смуги і що поліпшить змив на гідрозбивах для утилізації. Також необхідно відзначити, що введення НПАВ може вплинути на зменшення витрати поверхні валків.

Роблячи виводи, можна відзначити, що промислові дослідження очищення окалинозмістовних вод від масел із застосуванням НПАВ показали, що кількість у тонкодисперсної (менш 100мкм) окалині за три місяці збирається в 4-5 разів менше, швидкість зневоднювання виросла в 2 рази [21].

4.7 Інженерна розробка медичного захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

У термічному відділенні прокатного цеху обсягом 5000 м³ для нагрівання стана встановлено нагрівальні колодязі з тепловідляючою поверхнею площею 104,9 м². Температура усередині печі $t_{\text{вн}} = 1270^{\circ}\text{C}$. Стінки печей цегельні із шамоту ізольовані діатановою цеглою товщиною $\delta = 390$ мм. Продуктивність печі 9364 кг/с. Початкова температура металу, що витягає з печі, $t_{\text{поч}} = 1250^{\circ}\text{C}$. До моменту вивезення з відділення метал остигає до $t_{\text{кін}} = 1050^{\circ}\text{C}$. Температура зовнішнього повітря $t_{\text{зов}} = 26^{\circ}\text{C}$. Температура повітря у відділенні $t_{\text{від}} = 25^{\circ}\text{C}$. Температура повітря, що йде, $t_{\text{ух}} = 35^{\circ}\text{C}$ [62].

Знайдемо загальне тепловиділення в термічному відділенні за годину. Основні джерела теплоти – нагрівальні печі і метал, що остигає (іншими джерелами зневажаємо) [21].

Рішення

Коефіцієнт тепловіддачі стінки:

$$R = 1/(1/\alpha_1 + \beta/\lambda + 1/\alpha_2) ; \quad (4.2)$$

де: α_1 ; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях печі;

λ - коефіцієнт теплопровідності шамотної цегли;

тоді

$$R = 1 / (1/ 397,6 + 0,39/44,4 + 1 / 221) = 66,6 \text{ Дж/с.}$$

Тепловиділення від нагрівальних печей:

$$Q_n = R (t_{\text{вн}} - t_{\text{від}})S ; \quad (4.3)$$

де: R - коефіцієнт тепловіддачі стінок печі, Дж/с;

S - сумарна площа тепловідляючих поверхонь колодязя, м²;

$t_{вн}$ – температура усередині колодязя, °С;

$t_{від}$ – температура повітря у відділенні, °С;

$$Q_n = 66,6 \cdot (1270 - 25) \cdot 104,9 = 8697993 \text{ Дж/с.}$$

Знаходимо тепловиділення металу, що остигає, Дж/с:

$$Q_m = PC(t_{поч} - t_{кін}); \quad (4.4)$$

де: P – сумарна продуктивність колодязів, Г/ч;

C - теплоємність металу,

$t_{поч}$ - початкова температура металу, що витягає з колодязя, °С;

$t_{кін}$ - температура металу до моменту вивозу з відділення, °С;

тоді

$$Q_m = 9364 \cdot 0,14 (1250 - 1050) = 261,9 \text{ кДж.}$$

Далі знаходимо загальну кількість теплоти, що виділяється у відділенні від нагрівальних печей і металу, що остигає.

$$Q_{заг.} = Q_n - Q_m = 8697993 + 261912 = 8959,9 \text{ кДж}$$

Приймаємо втрати теплоти через огороження відділення рівними 20% від загального надходження теплоти. Тоді надлишкова кількість теплоти буде дорівнює:

$$Q_{над.} = Q_{заг.} \cdot 0,8 = 8959905 \cdot 0,8 = 7167924 \text{ Дж.}$$

Кількість повітря, який необхідно ввести для видалення надлишкової теплоти, м³/год:

$$V_{пов.} = 3550 \cdot Q_{над.} / C_v(t_{ух} - t_{зов}) = 3,6 \cdot 7167924 / 1,256(35 - 26) = 2054500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

де: C_v – об'ємна теплоємність повітря, кДж/(м³К);

t_{yx} – температура повітря, що йде, °С;

$t_{зов}$ – температура зовнішнього повітря, °С.

Знаходимо кратність повітрообміну:

$$K = V_{пов} / V_{прим}, \quad (4.5)$$

де: $V_{прим}$ – обсяг приміщення, м³;

$$K = 2054500 / 397360 = 5,2 ,$$

тобто повітря в приміщенні обмінюється 5 разів.

Висновок: У розділі охорони праці мною були проаналізовані шкідливі і небезпечні фактори, що впливають на людину, і є присутніми у процесі прокатки в даному цеху, а також існуючої заходи захисту від перерахованих вище факторів.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасний стан технологічного процесу виробництва гарячекатаної штаби на БТЛС 1680 ВАТ «Запоріжсталь».

Встановлено, що стан має ряд недоліків пов'язаних з низькою продуктивністю стану та неякісним змотуванням штаб в рулони:

- конструкція змотувачів застаріла і не забезпечує якісної змотування штаб товщиною менше 2 мм.

- змотувачі не дозволяють регулювати швидкість в процесі змотування для регулювання температури по довжині штаби.

- великий фізичний знос обладнання моталок №№ 4-6.

2. У якості технічного рішення змінити змотувачі на універсальний гідравлічний змотувач, який дозволить виконувати наступні операції:

- надійне захоплення штаби тягнучими, формуючими роликками і барабаном на швидкостях до 12,5 м / с

- Надійна «прив'язка» штаби до барабана, час до виникнення натягу зменшується на 70%.

- Змотування рулонів з мінімальною телескопічністю (не більше 20 мм).

- Змотування рулонів з мінімальними зазорами між витками (щільність змотки не нижче 0,98).

- Змотування рулонів з мінімальними ушкодженнями поверхні штаби.

- Ефективне охолодження рулонів і вузлів змотувачів. Точне і стабільне позиціонування механізмів, підтримання настроювальних зазорів, швидкісних і енергосилових параметрів.

- Мінімальні динамічні навантаження

- Надійність і довговічність основних вузлів змотувачів.

- Зручність обслуговування і ремонту.

Що дозволить збільшити швидкість прокатки та якість рулонів.

3. За результатів енергосилових параметрів штаби $2,5 \times 1250$ мм, встановлено, що максимальне зусилля склало: $P = 15,44$ МН; потужність двигуна знаходиться на рівні $N_{ДВ_{дуо}} = 2266$ кВт $\rightarrow N_{ДВ_{10}} = 6968$ кВт. Показано, що можливе проведення технологічного процесу прокатування штаби зі сляба товщиною 200 мм. В результаті впровадження даного технологічного процесу збільшується продуктивність стана на 175 т/год.

4. Результати розрахунків на міцність деталей прокатного стану показали, що запас міцності для валків склав 23,5 для робочого 7,12 для опорного; для станини 13,7; для барабана моталки 15,1, що відповідає гранично-допустимим показникам.

5. Установка універсального гідравлічного змотувача на БТЛС 1680 ВАТ «Запоріжсталь», привело до збільшення продуктивності на 1,75%. Знизилася собівартість виробництва 1 т прокату на 30,186 грн. Річний економічний ефект складе 1132860,4 грн. Економічна ефективність капітальних вкладень 1.36 грн./1грн. За рахунок зниження собівартості продукції, капітальні витрати окупляться протягом ≈ 1 року.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Серета Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.
2. Серета Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.
3. Василёв Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали : учебник для вузов. Киев : Вища школа, Головное издательство, 1976. 192 с.
4. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства : учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311 с.
5. Сафьян М.М., Мазур В.Л., Сафьян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351 с.
6. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. /– Запорожье ЗГИА, 2008. 224 с.
7. Чащин В. В., В. А. Капитанов, Попов Е. С. Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне. *Производство проката*. 2008. № 8. С. 17-23.
8. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
9. Серета Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.
10. Серета Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

11. *Середка Б.П.* Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.
12. Дубовский Б. А., Никифоров Б. А., Радионова Л. В. Исследование влияния технологических параметров горячей прокатки на структуру низкоуглеродистых и низколигированных марок стали. Производство проката. 2006. №10. С. 15-20.
13. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2004. 31 с.
14. Бойчик И. М. Экономика предприятия : учебное издание. Киев : Атика, 2002. 480 с.
15. Покропивного С. Ф. Экономика предприятий : учебник. За об. ред. С.Ф. Покропивного. изд.2-е, переред. и доп. Киев : КНЕУ, 2001. 528 с.
16. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. учебник. изд. 2-е, дополненное. Львов : Афиша, 2000. 350 с.
17. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. Киев : Техника, 1991. 285 с.
18. Панасейко С. П. Гигиена труда и производственная санитария : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 232 с.
19. Панасейко С. П. Методические указания для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Охрана труда» (раздел «Вентиляция и кондиционирование»). Запорожье : ЗГИА, 2002. 45 с.
20. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев : Высшая шк., 1978. 328 с.
21. Рижков В. Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності „Металургія чорних металів” спеціалізації „Охорона праці та екологія металургійного виробництва” денної та заочної форм навчання / Укл.: В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2004. 60 с.