МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кваліфікаційна робота / проект

_____Перший (бакалаврський)_____
(рівень вищої освіти)

на тему **_Аналіз недоліків роботи неперервного стана холодної прокатки 1680 і розробка заходів щодо їх усунення при прокатуванні штаби 0,8×1320 мм зі сталі 08пс**

Виконав: студент __V_ курсу, групи 6.1361-омт-з
спеціальності _____136 Металургія_____
(код і назва спеціальності)
освітньої програми ___Обробка металів тиском__
(код і назва освітньої програми)
_____Є. Г. Пишук_____
(ініціали та прізвище)

Керівник
доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н. В.М. Проценко

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

Запоріжжя – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___

Рівень вищої освіти __перший (бакалаврський) рівень_____

Спеціальність _____136 «Металургія»_____

(код та назва)

Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____

(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

_____Ю.О. Бєлоконь

“_20_” ___01_____2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____Пишуку Євгену Геннадійовичу_____

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) ***Аналіз недоліків роботи неперервного стана холодної прокатки 1680 і розробка заходів щодо їх усунення при прокатуванні штаби 0,8×1320 мм зі сталі 08пс_____***

керівник роботи (проекту)__Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.____,

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “27” 12 24 р. № 2031-с

2. Строк подання студентом роботи _____23 травня 2025 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси_____

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

Мета кваліфікаційної роботи – розробка заходів щодо підвищення якості штаби шляхом впровадження нової системи для очищування емульсії на

безперервному стані холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Надати характеристику устаткування та технології виробництва, виконати розрахунок режиму деформації і енергосилових параметрів прокатки, навести характеристику установки магнітного очищення емульсії УСОЖ-30-2, виконати розрахунок робочих і опорних валків і станини прокатної кліті на міцність і деформацію.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схеми обладнання, графіки залежностей енергосилових параметрів, ескізи валків і станини прокатної кліті, епюри згинальних моментів, схеми натискного гвинта і гайки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання __20.01.2025 року.__

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	21.01.25 – 14.03.25	
2.	Розділи 2 - 3	17.03.25 – 18.04.25	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	21.04.25 – 23.05.25	

Студент _____ **Пишук Є.Г.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Проценко В.М.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Реферат

Кваліфікаційна робота містить: _67_ с., _14_ рис., _9_ табл.; використано літературних джерела _14_.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ПІДКАТ, ШТАБА, ВАЛОК, ЗУСИЛЛЯ ПРОКАТКИ, ПРУЖНА ДЕФОРМАЦІЯ, ПРОФІЛЮВАННЯ, ПЛОЩИННІСТЬ, ЕМУЛЬСІЯ.

Об'єкт дослідження – виробництво холоднокатаної штаби на безперервному стані холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь», площинність штаби, умови роботи валків під час прокатки, визначення оптимальних параметрів роботи системи очищення емульсії.

Метою бакалаврської роботи є розробка заходів щодо підвищення якості штаби шляхом впровадження нової системи для очищування емульсії на безперервному стані холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime 10, Excel. Аналітичні розрахунки на основі математичних моделей і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020.

Отримані результати і їх новизна – визначено пружні деформації валкового вузла при прокатці штаб основного сортаменту стана, а також оптимальні параметри модернізованої системи для очищування емульсії. Виконано розрахунки раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаб зі сталей марки 08пс з розмірами 0,8×1320 мм. Запропоновано встановити установку УСОЖ-30-2 магнітного очищення емульсії від металевих часток і замінити електричну систему приводу натискного механізму валків прокатної кліті на електрогідравлічну систему.

Отримані результати можуть бути використані на безперервному чотириклітьовому стані холодної прокатки 1680 для поліпшення якості холоднокатаних штаб і покращення умов роботи валків під час прокатки.

ЗМІСТ

	ВСТУП	7
1	ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1	Класифікація прокатних станів	9
1.2	Характеристика устаткування та технологія виробництва	10
1.2.1	Призначення і основний сортамент прокатного стану та цех	10
1.2.2	Технологічна характеристика устаткування	11
1.2.3	Опис технології виробництва	13
1.2.4	Аналіз устаткування, технології і якості продукції, що випускається	19
2	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1	Профілювання і стан поверхні валків	22
2.2	Забезпечення змащення й охолодження валків	23
2.3	Контроль, метрологічне забезпечення технології та маркування рулонів	26
2.4	Розрахунок режиму деформації штаби й розрахунок енергосилових параметрів прокатки	27
3	МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	40
3.1	Опис конструкції і роботи прокатної кліті, розрахунок її деталей на міцність	40
3.2	Розрахунок на міцність станини робочої кліті	43
3.3	Розрахунок тихохідного натискного механізму	48
3.4	Розрахунок робочих і опорних валків	52
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	56
4.1	Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	56
4.2	Засоби захисту від небезпечних і шкідливих факторів	59
4.2.1	Засоби індивідуального захисту	59

4.2.2 Запобіжні заходи від впливу небезпечних і шкідливих факторів 59
4.3 Пожежна безпека 60
4.4 Електрична безпека 62
ВИСНОВКИ 65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 66

ВСТУП

Одним з найбільш економічних і універсальних видів металопродукції є листовий холоднокатаний прокат. Холоднокатані листи і штаби широко застосовують для виготовлення легких штампувальних і зварених конструкцій в автотракторній, машинобудівній, електротехнічній, консервній і легкій промисловості, приладобудуванні, будівництві й інших галузях господарської діяльності людини. У даний час близько 50 % тонкого плоского сталевого прокату випускається у вигляді холоднокатанної штаби і листів. У розвинутих індустріальних країнах частка випуску тонкого листа досягає 55...70 % від обсягу сталевого холоднокатаного прокату.

Аналіз сортаменту сталевого прокату, отриманого у світі за останні 25 років, показує, що обсяг холоднокатаної сталі безупинно збільшується. В останні роки ця тенденція підсилилася і за прогнозами в найближчі 10...20 років збережеться. Поряд зі збільшенням обсягу, розширюється сортамент і зросли вимоги до точності геометричних розмірів, якості поверхні і властивостям холоднокатаного прокату.

Одночасно з цим особливу актуальність придбали питання економії металу, енергоресурсів, трудових і інших матеріальних витрат (інструменту, технологічного змащення, кислоти, захисного газу і т.п.) при виробництві холоднокатаного прокату. Крім очевидної доцільності, це викликано також значним підвищенням цін на сировину й енергоносії, тенденція до росту яких у найближчі роки збережеться.

Вирішення задач, пов'язаних з підвищенням ефективності виробництва, збільшенням випуску, розширенням сортаменту і поліпшенням якості холоднокатаного прокату здійснюється, головним чином, у такому напрямку: удосконалювання діючого устаткування й існуючих технологій, а також створення нових технологічних процесів і устаткування.

Цей напрямок дозволяє вирішити перераховані вище задачі на базі досягнень технічного прогресу в області технології холодної прокатки,

прокатного машинобудування, автоматизації технологічного процесу. Накопичений вітчизняний і закордонний досвід свідчить про те, що за рахунок оптимізації технології, впровадження систем автоматизації і вирішуються успішно такі задачі, як підвищення точності, стабілізація властивостей і поліпшення якості поверхні продукції; збільшення продуктивності станів; зниження витрат праці, електроенергії, металу, палива, інструмента і допоміжних матеріалів на виробництво однієї тонни продукції; скорочення часу на освоєння нових сорторозмірів і нових видів прокату тощо.

При проектуванні нового устаткування станів холодної прокатки, необхідна нова система очищування емульсії на безперервному стані холодної прокатки 1680.

Тому в даній роботі представлений розрахунок технологічних параметрів нової системи очищування емульсії на безперервному стані холодної прокатки 1680, що дасть можливість збільшити продуктивність прокатного процесу. Крім того, визначено пружні деформації валкового вузла. Наведено розрахунок енергосилових параметрів прокатки штаби зі сталі 0,8пс розміром 0,8×1300 мм, розрахунок міцності станини робочої кліті, Наведено необхідні заходи з охорони праці.

Мета кваліфікаційної роботи - розробка заходів щодо підвищення якості штаби шляхом впровадження нової системи для очищування емульсії на безперервному стані холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Класифікація прокатних станів

Прокатним станом називається комплекс машин й агрегатів, призначених для здійснення пластичної деформації металу у валках (власне прокатки), подальшої його обробки й транспортування.

Залежно від призначення (тобто від виду продукції, що випускається) прокатні стани можна розділити на наступні групи.

Стани гарячої прокатки: обтискні, заготовочні, рейк-балкові, крупносортні, середньосортні, дрібносортні, дротові, товстолистові, средньолистові, тонколистові, широкоштабові й штрипсові (випускаючі штрипс-заготівлю для труб у вигляді штаби шириною до 400 мм).

Стани холодної прокатки: листові, жерстепрокатні й стани для прокатки тонкої й найтоншої штаби.

Холодну прокатку рулонної штаби здійснюють на станах різного типу: безперервних чотиривалкових (трьох-, чотирьох-, п'яти- і шестиклітьових), і реверсивних чотиривалкових і багатовалкових.

Неперервні стани складаються із трьох - шести клітей. Звичайна відстань між осями клітей 4,5 - 5 м. Три-, чотириклітьові неперервні стани застосовують для холодної прокатки листів товщиною 0,6 - 2,5, шириною 1300 -1800 мм із гарячекатаної штаби товщиною 3-8 мм у рулонах масою 25-50 т. Відповідно до ширини штаби довжина бочки валків 1500 – 2000 мм, діаметр робочих валків 500 – 600 мм, опорних 1300 - 1500 мм. Залежно від сортаменту і якості листової сталі швидкість прокатки на цих станах становить 5-12 м/с.

П’ятиклітьові безперервні стани застосовують для холодної прокатки тонкої (0,5 - 1,0 мм) штаби шириною 1500 - 2350 мм із гарячекатаних штаб товщиною 4-6 мм у рулонах масою 20 - 30 т і більше. Швидкість прокатки на цих станах 10-25 м/с [1].

1.2 Характеристика устаткування та технологія виробництва

1.2.1 Призначення і основний сортамент прокатного стану та цеху

Призначення цеху ЦХП-1: виготовлення товарної продукції у виді холоднокатаних листів і штаб, а також передільних холоднокатаних рулонів для цеху жерсті і цеху гнутих профілів з вуглецевих і легованих марок сталі.

Сортамент листів, що виготовляються: товщина 0,5-2,0 мм; ширина 850-1500 мм; довжина 1900-3950 мм. Сортамент вихідних гарячекатаних штаб: товщина 2-4 мм; ширина 850-1520 мм [2].

Безперервний чотириклітьовий стан 1680 призначений для холодної прокатки рулонної сталі перетином 0,5...2×1000…1500 з вуглецевої сталі (08кп, 08пс, 08Ю, 10кп, 10пс, Ст1пс, Ст2кп, Ст3кп, 10, 15, 20, 25 і ін.).

Марки сталі, і товщина підкату приведені в табл. 1.1.

Таблиця1.1 - Марки сталі і розміри штаби

Група сталей	Марка сталі	Розміри х/к штаби, мм		Товщина підкату, мм	ГОСТ(ТУ) на хім. склад
		товщина	ширина		
1	2	3	4	5	6
1	08ю, 08кп, 08пс,10пс, 10кп, Ст1пс, Ст1кп	0,5	1000-1030	2	ГОСТ 9045 ГОСТ 1050 ГОСТ 380
		0,6	1000-1250	2	
		0,7	1000-1250	2,5	
		0,8-0,9	1000-1500	2,7	
		1,0-1,3	1000-1500	3	
		1,4-1,6	1000-1500	3,5	
		1,7-1,8	1000-1500	3,8	
		1,9-2,0	1000-1250	4	
		1,9-2,0	Більше 1250	3,8	
			До 1500		
2	15пс, 15кп, Ст0, Ст2пс, Ст2кп, Ст3пс, Ст3кп	0,8-0,9	1000-1250	2,5	ГОСТ 1050 ГОСТ 380 ГОСТ 380
		1,0-1,3	1000-1250	2,7	
		1,4-1,6	1000-1500	3	
		1,7-2,0	1000-1500	3,5	

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
3	10, 15, 20кп, 20пс, Ст3пс	0,7	1000-1250	2	ГОСТ 1050 ГОСТ 1050 ГОСТ 380
		0,8-0,9	1000-1250	2,3	
		1,0-1,3	1000-1450	2,5	
		1,4-1,6	1000-1500	3	
		1,7-2,0	1000-1500	3,5	
4	09Г2, 09Г2Д	1,0-1,2	1000-1250	2,7	ГОСТ1928
		1,3-1,5	1000-1250	3	
		1,6-2,0	783-1250	3,5	
	10ХНДП	1,0-1,2	1000-1250	2,7	ГОСТ1928
		1,3-2,0	982-1250	3	
5	10Г2, 16Г2	1,5	1000-1200	2,7	ГОСТ4543
		2,0	1000-1200	3,2	
6	07ГСЮФ, 08ГСЮФ, 08ГСЮТ	0,9-1,2	1000-1280	3	ТУ 14 15-325 ТУ 14 1-3764
		1,4-2,2	1000-1280	3,5	

Підкатом служить гарячекатана штаба з вуглецевої сталі - після травлення, з нержавіючої і легованої сталі - після термообробки і травлення. Розміри гарячекатаної штаби 2,0...4×800…1500мм. Максимальна маса травленого рулону 15т.

1.2.2 Технологічна характеристика устаткування

ЦХП №1 комбінату "Запоріжсталь" має у своєму складі: три безперервні травильні лінії, безперервний чотириклітьовий стан 1680, два реверсивних стани 1680 і 1200, газові ковпакові відпальні печі, два дресирувальних стани 1700 (для дресирування рулонів), 4 агрегати поперечного різання.

До складу прокатного відділення входять безперервний чотириклітьовий стан 1680, реверсивні стани 1680 і 1200, ділянка підготовки валків.

Безперервний чотириклітьовий стан 1680 - основний прокатний стан ЦХП-1. Він складається з 4-х послідовно розташованих клітей кварто, що мають у своєму складі два опорних і два робочих валка, а також допоміжне устаткування (підводящого і прийомного пристрою, поворотного столу, розмотувача, моталки барабанного типу і т.п.)

Для поліпшення захвату в першій кліті використовуються насічені робочі валки. У четвертій кліті також використовують робочі валки з насіченою поверхнею для виключення зварюваності витків рулонів при наступній термообробці.

Опорні валки першої кліті - обоє опуклі (від 0,60 до 0,90 мм); 2-ої і 3-ої кліті - верхні циліндричні, нижні опуклі від 0,00 до 0,20 мм; 4-ої кліті - верхній циліндричний, нижній - опукло-циліндричний (опуклість 0,50 мм, довжина циліндричної частини - 800 мм).

Профілювання робочих валків: нижні - циліндричні, а верхні мають такі характеристики: кліть №1 від -0,30 до 0,80; клітей №2 і №3 від 0,10 до 0,30; кліть №4 від 0,00 до 0,30.

Ділянка підготовки валків містить у собі два верстати для шліфування валків, машину для насічки поверхні, площадки для ревізії подушок і підшипників і стелажі зборки-розбирання валків[2].

Безперервний стан 1680 обладнаний системою подачі технологічного змащення (частіше це емульсія з концентрацією емульсолу 2-4 %), системами протизгину робочих валків, контрольно-вимірювальною апаратурою та ін.

Відпал холоднокатаних рулонів здійснюється в одностопних ковпакових печах у захисній атмосфері. Максимальна вага садки 45 т (3-4 рулону).

Печі опалюються природним газом з теплотворною здатністю 8350 ккал.

Кожен ковпак обладнаний 8 інжекційними пальниками, встановленими тангенціально до стендів муфеля. Максимальний діаметр відпаленого рулону - 1600 мм, максимальна висота стопи - 4700мм. Цикл відпалу - 3 доби.

Призначення дресирування - запобігання появи ліній зрушення в процесі штампування виробів у споживача, остаточна обробка поверхні холоднокатаних листів після відпалу і поліпшення механічних властивостей.

Дресирування холоднокатаних відпалених рулонів після охолодження до температури 40-80^{0}С відбувається на двох станах кварто 1700 №1 і 1700 №2. Обтиснення при дресируванні 0,8-1,2%.

Стан 1700 складається з однієї робочої кліті, розмотувача, натяжного пристрою, моталки барабанного типу та ін. Після дресирування штаби розрізаються на листи на трьох агрегатах поперечного різання.

1.2.3 Опис технології виробництва

Вихідним матеріалом для виробництва холоднокатаних штаб і листів служать гарячекатані штаби товщиною 2,0...4,0 мм, що надходять у цех холодної прокатки в рулонах.

Поверхня вихідних гарячекатаних штаб покрита окалиною (оксидами). Якщо проводити холодну прокатку штаби у такому стані, то окалина буде вдавлюватися в метал, різко погіршуючи якість його поверхні. Крім того, окалина, маючи високу твердістю, сприяє зносу прокатних валків. Тому першою необхідною технологічною операцією є видалення окалини з поверхні гарячекатаних штаб [3].

У ЦХП-1 комбінату "Запоріжсталь" травлення гарячекатаних штаб здійснюється соляною кислотою в травильних агрегатах безперервної дії.

З'єднання штаб з утворенням безперервної штаби здійснюється на зварювальній машині. Перед цим штаби проходять через правильну машину, їхні кінці обрізаються на ножицях.

Рулони після травлення, призначені для прокатки, укладаються електромостовим краном на похилій площадці прийомного пристрою стану. На поворотному пристрої рулони повертаються навколо вертикальної осі на 180^0 і надходить на скидач рулонів. Установка рулонів різної ширини на

скидачі в потрібному положенні (щодо подовжньої осі розмотувача) здійснюється упором з буфером, що переміщається. Рулон центрується конусами і за допомогою електромагнітного відгибача кінець штаби відгинається в крайнє верхнє положення для заправлення в ролики, що тягнуть.

Настроювання стану повинне забезпечити:

а) установку валків у горизонтальній площині;

б) дотримання режиму обтиснень, передбаченого інструкцією;

в) оптимальний натяг штаби між клітями стану і моталкою;

г) одержання штаби з необхідною за замовленням товщиною, рівномірною в поперечному перерізі і по довжині.

Валки вважаються встановленими правильно, без перекосу, якщо відстані по краях валків у місцях проходу емульсії рівні. Контроль за правильною установкою валків у кліті в процесі прокатки здійснюється по напрямку переднього обтиснутого кінця штаби при виході його з кліті. Напрямок переднього кінця штаби після виходу з першої, другої, третьої і четвертої клітей (строго по осі прокатки) свідчить про відсутність перекосу валків. Зсув штаби усувається регулюванням натискними гвинтами: при зсуві штаби вправо від осі прокатки необхідно підняти лівий гвинт чи опустити правий, при зсуві штаби вліво - підняти правий чи опустити лівий гвинт. Настроювання стану на прокатку штаби необхідної товщини здійснюється на першому рулоні партії і здійснюється вальцювальником стану. Орієнтовне настроювання стану на прокатку штаби здійснюється на підставі рівності секундних об’ємів металу, що проходять через кліті ($H_1V_1=H_2V_2=H_3V_3=H_4V_4$) при постійному контролі натягу і товщини штаби.

Настроювання стану здійснюється в такий спосіб:

а) робочі валки встановлюються в положення умовного попереднього притиснення, що характеризуються показаннями амперметрів двигунів натискного пристрою.

б) на тахометрах "настроювання стану" кожної кліті установлюють швидкість прокатки, при цьому реостати "тонке регулювання" повинні знаходиться в середньому положенні;

в) у холосту підвищують швидкості клітей до робочої і порівнюють їх із заданими на тахометрах. У випадку невідповідності отриманих швидкостей заданим їх коректують до одержання необхідних;

г) задають передній кінець штаби в першу кліть і регулюють обтиснення в ній по вимірах товщини штаби ручним мікрометром, а потім регулюють обтиснення в наступних клітях, використовуючи показання приладів, що контролюють натяг штаби;

д) після розподілу обтиснень по клітям вальцювальник перевіряє величини натягів між клітями і навантаження прокатних двигунів для того, щоб вони не перевищували величин, що допускаються.

Якщо навантаження на прокатні двигуни перевищує величини, що допускаються, необхідно перерозподілити обтиснення або швидкості по клітям. При зміні обтиснень у процесі настроювання стану необхідно відрегулювати швидкості прокатних двигунів реостатом тонкого регулювання таким чином, щоб натяг штаби між клітями залишалося незмінним і відповідало даній технології.

Після настроювання стану на заданий режим прокатки, показання продуктиметрів на всіх клітях встановлюється в нульове положення. Зміна в показаннях продуктиметрів здійснюється вальцювальником у випадку, якщо товщина вихідної з даної кліті штаби не буде відповідати товщині, зазначеної в режимі обтиснень.

Відігнутий від рулону електромагнітним відгибачем передній кінець штаби притискається знизу до ролика, що тягне. Після цього під низ штаби підводяться два опорних ролики, що разом з роликом, що тягне, утворять трьохроликову правильну машину. Штаба подається на стаціонарний стіл і на заправній швидкості подається у валки стану. З захваченням переднього кінця штаби валками, на штабу опускається верхня рама прес-проводки. Перед

задачею штаби в стан бічні розсувні проводки (перед першої кліттю) повинні бути встановлені на ширину штаби.

Із захваченням переднього кінця штаби валками першої кліті починається прокатка штаби. При проході першого кінця штаби через стан для одержання заданої в режимі обтиснень товщини, після кожної кліті необхідно збільшити обтиснення в першій, другій і третій клітях. З цією метою натискні гвинти першої кліті необхідно опустити на 0,7-1,0 мм (по продуктиметру), другої кліті - на 0,5 мм, третьої кліті - на 0,3 мм нижче встановленого для даного розміру нульового положення. При захопленні переднього кінця штаби валками четвертої кліті натискні гвинти першої, другої, третьої клітей піднімаються до первісного нульового положення (по продуктиметру).

Задача переднього кінця штаби у валки стану, прокатка в клітях 1-4, задача в зьов барабана моталки здійснюється на заправній швидкості. При цьому вальцювальник зупиняє штабу і контролює товщину переднього кінця штаби з метою настроювання стану на задане обтиснення і швидкість. Передній кінець повинний мати задану товщину, що відповідає режиму обтиснень по клітям. Оператор головної посади стану заводить ізотопний товщиномер на штабу; після створення натягу штаби моталкою, одночасно стан переводять на робочу швидкість. Оператор головної посади разом з оператором моталки звіряють показання товщиномера по еталону. При прокатці зварених рулонів передбачений автоматичний і ручний режими прокатки ділянки звареного шва. При автоматичній роботі відбувається уповільнення стану перед ділянкою звареного шва методом фіксації міток (отворів) у крайки штаби за допомогою фотоелектричного датчика до обраної заправної швидкості з автоматичним опусканням натискних гвинтів першої і другої клітей. Повернення натискних гвинтів у вихідне положення після пропуску звареного шва здійснюється вручну. При виході звареного шва з третьої кліті відбувається автоматичний розгін стану.

При ручному керуванні прокаткою звареного шва після одержання звукового сигналу про наближення шва оператор розмотувача повинен

сповільнити стан до 2,0-2,5 м/с і натиснути кнопку "обтиск шва" при цьому натискні гвинти першої і другий клітей опускаються на 0,4-0,6 мм нижче їхнього нульового положення (по продуктиметру). Перехід стану на робочу швидкість здійснюється після виходу шва з третьої кліті.

Керування прокаткою заднього кінця штаби здійснюється автоматично чи вручну. При автоматичному керуванні на визначеній відстані від заднього кінця штаби відбувається уповільнення стану до заправної швидкості, при цьому включаються натискні гвинти першої і другий клітей на додаткове обтиснення заднього кінця.

При прокатці сталей з підвищеним вмістом вуглецю натискні гвинти опускаються додатково на 0,05-0,1 мм (по продуктиметру). Програма додаткового обтиснення заднього кінця рулону встановлюється перемикачами на посаді розмотувача.

При виході заднього кінця штаби з першої кліті і зникненні натягу між першою і другою клітями (а потім між другою і третьою клітями) на наступних між клітьових проміжних натяг зберігається і величина його коректується перемикачами, установленими на посадах третьої і четвертої клітей. При ручному керуванні прокаткою заднього кінця штаби перед виходом його з розмотувача (коли в розмотувачі залишається приблизно 5-6 витків) необхідно попередньо знизити швидкість стану, одночасно з цим натискні гвинти першої і другою клітей опустити на 0,4-0,5 мм нижче нульового положення (по продуктиметру). При подальшому зниженні швидкості до заправної натискні гвинти першої і другої клітей повторно опускаються до одержання заданої товщини штаби.

Зняття прокатаного рулону з барабана моталки здійснюється за допомогою горизонтального переміщення гідравлічного візка. Рулон, знятий з моталки, транспортується візком до похилого жолоба прийомного пристрою і перекидається на нього, при цьому зникаючий упор знаходиться в піднятому положенні і перед ним повинно знаходитися не менш одного упакованого рулону. Після повернення візка знімача під моталку на прийомному пристрої

здійснюється упакування рулону гарячекатаною пакувальною стрічкою товщиною 1,8-2,0 мм, шириною 30 мм. робітник-пакувальник просмикує стрічку під рулон, заправляє обидва кінці стрічки в замок. Внутрішній кінець штаби товщиною 0,5-0,9 мм кріпиться шляхом пропущення пакувальної стрічки під другим-третім витком штаби і загинання обох кінців її усередину рулону.

При прокатці особлива увага звертається на рівну змотку рулонів, особливо при підмотуванні одинарних рулонів при обриві штаби між клітями (по шву). У випадку нерівного підмотування виступаючі витки необхідно обрізати.

Наступної основною технологічною операцією - після прокатки - є відпал, що необхідний для усунення наклепу, отриманого при холодній деформації, і відновлення пластичних властивостей металу. Температура нагрівання металу (низько вуглецевої сталі) 650-720 ^{0}С. З погляду структурних перетворень цей отжиг є рекристалізаційним.

Відпал здійснюється в одностопних ковпакових печах. На нерухомому стенді встановлюється стопа з 3-5 рулонів, що накривається муфелем, виготовленим з жароміцної сталі. Унизу муфель герметизується пісковим затвором. Нагрівання рулонів здійснюється за допомогою переносного ковпака, у нижній частині якого по периметрі розташовані пальники. Ковпак футерован легковагою вогнетривкої цегли. Паливом для пальників служить природний чи коксовий газ, чи суміш цих газів з доменним. Перед нагріванням підмуфельний простір, де розташовані рулони, заповнюється захисним (нейтральним) газом, у якості якого використовується азотно-воднева суміш (95-97% азоту і 3-5% водню). Захисний газ запобігає окислювання поверхні металу при нагріванні. Відпал у захисній атмосфері має особлива назва - світлий відпал.

З метою вирівнювання температури металу по висоті стопи і прискорення процесу нагрівання здійснюється примусова циркуляція

захисного газу в підмуфельному просторі. Для проходження газу між рулонами встановлюються конвекторні (ребристі) прокладки.

Весь цикл відпала можна розділити на три періоди: нагрівши металу до заданої температури (10-30 год); витримка при максимальній температурі (6-25 год); охолодження до температури навколишнього середовища (25-40 год). загальна тривалість перебування металу на стенді складає від 40 до 80 год, у залежності від маси рулонів, марки стали, товщини штаби й інших факторів.

Після відпалу тонколистова сталь піддається дресируванню. Як уже відзначалося, цим терміном позначається процес оздоблювальної холодної прокатки з дуже невеликим обтисненням, звичайно в межах 0,8-1,5%.

При рулонному способі виробництва дресирування ведеться з переднім і заднім натягом. На практиці величина питомих натягів найчастіше знаходиться в межах: $(0{,}2\text{-}0{,}5)\sigma_т$, заднє $(0{,}1\text{-}0{,}2)\sigma_т$. Величина застосовуваних натягів росте зі зменшенням товщини штаб, що прокочуються. Дресирування проводять із застосуванням змащення, що дозволяє трохи знизити тиск на валки і, саме головне, сприяє видаленню забруднення з поверхні штаб.

1.2.4 Аналіз устаткування, технології і якості продукції, що випускається

Підкатом для стану холодної прокатки служать гарячекатані штаби товщиною 2,0 – 4,0 мм масою до 15 т, що надходять з цеху гарячої прокатки. В залежності від призначення гарячекатані рулони подаються на безперервно-травильний агрегат. Гарячекатані штаби покриті товстим (0,009 – 0,15 мм) шаром окалини й інших забруднень. Для забезпечення нормального ведення процесу холодної прокатки й одержання холоднокатаних штаб і листів з високоякісною поверхнею підкат перед холодною прокаткою повинен бути ретельно очищений від окалини і забруднень.

В ЦХП-1 застосовують хімічний спосіб видалення окалини, тому що він дозволяє отримати штаби й листи з чистою поверхнею. Цей спосіб видалення

окалини й інших забруднень одержав поширення на усіх ведучих металургійних комбінатах України і зарубіжжя.

В сучасних цехах холодної прокатки, що відрізняються високою продуктивністю, окалину попередньо руйнують механічним способом і остаточно видаляють хімічним шляхом. У ЦХП-1 окалинозламувач, що знаходиться в головній частині травильної машини, діє за принципом подвійного вигину штаби навколо роликів малого діаметру. При цьому віддаляється тільки деяка частина окалини, інша зламується. Перед потраплянням штаби в травильну ванну штаба проходить дресирувальну кліть (обтисненням 2 - 5 %) чи машину пластичного розтягання.

Далі йде безпосереднє травлення в травильних ваннах, наповнених водяним розчином соляної кислоти.

У закордонній практиці для травлення штаб з вуглицевих і низьколегованих сталей усе більше поширення одержує соляна кислота, що сприяє поліпшенню якості травильної поверхні штаби, зменшенню небезпеки появи водневої крихкості, збільшенню швидкості травлення і зниженню витрат на травлення на 20 – 30 % за рахунок більшої регенерації кислоти. Найбільш оптимальною концентрацією соляної кислоти вважається 18 – 25 %.

Прокатне відділення ЦХП-1 представлене чотирма прокатними станами: безперервний чотириклітьовий тан 1680; реверсивні 1680 і 1200 стани. Найбільш завантаженим є безперервний чотириклітьовий стан 1680, що прокатує основну частину металу. Так як цей стан давно не модернізувався, а вимоги до якості прокату зростають, то він має ряд недоліків. Двигуни стану мають малу потужність, що призводить до обмеження мінімальної товщини прокату. Через малу потужність двигунів метал прокатується на невеликих швидкостях, що приводить до зниження продуктивності стану. Прокатка ведеться зі зменшенням обтиснень по клітям.

Безперервний чотириклітьовий стан 1680 оснащений автоматизованою системою збору, обробки, відображення і реєстрації інформації про роботу стану, виробництві і якості прокату (АСУТП) [4]. Це дозволяє вести контроль над показниками процесу прокатки, такими як:

- маса рулону, що прокочується;
- відсоток виходу придатного металу по товщині;
- кількість прокачаних рулонів;

- продуктивність в годину, простої тощо.

Однак на стані відсутня система автоматичного регулювання товщини прокату (САРТ). Застосування САРТ значно спростило б людську працю, поліпшило б показники по охороні праці і техніку безпеки для робітників, а також призвело б до підвищення якості прокату і продуктивності стану.

На ведучих металургійних підприємствах ближнього і далекого зарубіжжя доведено, що успішна робота систем автоматичного регулювання форми штаби залежить насамперед від ефективності оперативного контролю неплощинності в процесі прокатки. Прямий замір штаби в промислових умовах важкий і не забезпечує заданої точності. Тому для заміру і контролю неплощинності штаби користуються непрямими методами, заснованими на вимірі витяжок чи швидкостей питомих натягів по ширині. Найбільший практичний інтерес представляє метод контролю неплощинності, заснований на зміні характеру розподілу питомих натягів по ширині штаби. Відсутність приладів заміру натягів у міжклітьових проміжках затрудняє контролювати площинність штаби. Крім того, усі сучасні листові стани оснащені системою автоматичного регулювання площинності (САРП).

У термічному відділенні застосовують одностопні ковпакові печі. При виробництві листів та штаб з маловуглицевих сталей найбільш розповсюдженою термообробкою є рекристалізаційний відпал при температурах 650 – 720ºС. Відпал при зазначених температурах забезпечує одержання необхідного сполучення механічних і пластичних властивостей сталі. Однак через неплощинність прокату є небезпека зварюваності витків рулону. На ведучих металургійних підприємствах застосовують агрегати безперервного відпалу (АБВ). Ці агрегати призводять до більш рівномірних властивостей металу, збільшенню продуктивності.

Дресирування є завершальною операцією технологічного процесу виробництва холоднокатаної сталі і застосовуються з метою запобігання утворення ліній ковзання при наступному штампуванні, поліпшення якості поверхні і зменшення неплощинності листів та штаб.

Однак, тому що при дресируванні прокочують метал з дуже маленькими обтисками, то говорити про повну ліквідацію неплощинності й інших дефектів недоцільно. Так як дресирування не видаляє неплощинність, а тільки поліпшує її якоюсь мірою. Видаляти площинність треба безпосередньо під час прокатки на стані.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Профілювання і стан поверхні валків

Профілювання робочих і опорних валків і тривалість їхньої роботи відповідають наступним вимогам:

а) вихідний профіль бочок валків:

- опорні валки для першої кліті – обоє випуклі, випуклість від 0,6 до 0,8 мм;
- опорні валки для другої й третьої клітей - верхні обоє циліндричні, нижні випуклість від 0 до 0,2 мм;
- опорні валки для четвертої кліті - верхній циліндричний, нижній - випукло-циліндричний (випуклість 0,5 мм, довжина циліндричної частини в середині бочки 800 мм);
- робочі валки для першої кліті випуклість від -0,3 до +0,8 мм;
- робочі валки для другої й третьої кліті випуклість від 0 до +0,3 мм;
- робочі валки для четвертої кліті випуклість від -0,3 до +0,3 мм.

б) діаметр парних валків може мати розбіжність у межах максимального й мінімального діаметрів. Розбіжність у діаметрах робочих валків допускається не більше 0,4 мм для 1, 2 і 3-ї клітей, а для 4-ї кліті не більше 0,2 мм. На обох кінцях бочки опорного валка робляться врізи глибиною 3 мм, шириною 180-200 мм для всіх ширин;

в) вихідний стан поверхні валків: робочі валки 1-4 клітей насічені валки; опорні валки шліфовані.

Поверхня бочок робочих валків другої й третьої клітей шліфовані по 7-8 класу. Поверхня бочок робочих валків першої й четвертої клітей після шліфування насікаються чавунним колотим дробом. Насічка повинна бути рівномірною по всій поверхні бочки валка, без пробілів. Шорсткість поверхні бочки валка четвертої кліті повинна бути в межах 4-5 напівтемних Ra.

Випуклість робочого валка після шліфування виміряється спеціальним приладом - пасометром у двох взаємо-перпендикулярних площинах через 100

мм по довжині бочки валка. Відхилення, що допускаються, від заданої величини випуклості не більше 0,01 мм. Вимір здійснюється шліфувальником, результати вимірів заносяться в картку або спеціальний журнал. Періодично, у порядку контролю, вимір здійснює майстер ділянки з ремонту й монтажу валків. Аналогічно контролюється й профіль опорного валка.

Не допускається розігрів валків за допомогою обертання їх під тиском із притиском одного валка до іншого.

Охолодження валків емульсією повинне починатися одночасно із прокаткою й припинятися із зупинкою стана. При тимчасових затримках у роботі стана обертання валків не припиняється.

На валках, завалених у кліть після їхньої перешліфовки, необхідно для забезпечення необхідного профілю штаби починати прокатку з більш широких штаб з поступовим переходом на більше вузькі. Прокатка широких штаб після вузьких не допускається.

2.2 Забезпечення змащення й охолодження валків

Охолодження валків при холодній прокатці штаб здійснюється емульсією з емульсола «Т» (ТУ 6-14-254-87) або ОМ (ТУ 270-78) концентрації 2 – 4 %. Призначення емульсії - зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя; відвід тепла, що виділяється при прокатці; регулювання профілю валків.

Вимоги, передбачені до емульсії:

- стабільність (стійкість) - емульсія не повинна розшаровуватися;
- відсутність корозії металу валків;
- відсутність забруднень;
- концентрація, обумовлена технологічною інструкцією;
- емульсія подається на стан з температурою 35-50° С.

Характеристика емульсійної системи, технологія готування емульсії, порядок її заміни тощо викладені в технологічній інструкції. Для подачі емульсії на валки перед кожною кліттю встановлено по три трисекційних

колектора із самостійним підведенням до кожної секції. Зрошення валків емульсією здійснюється через отвори в колекторних трубах.

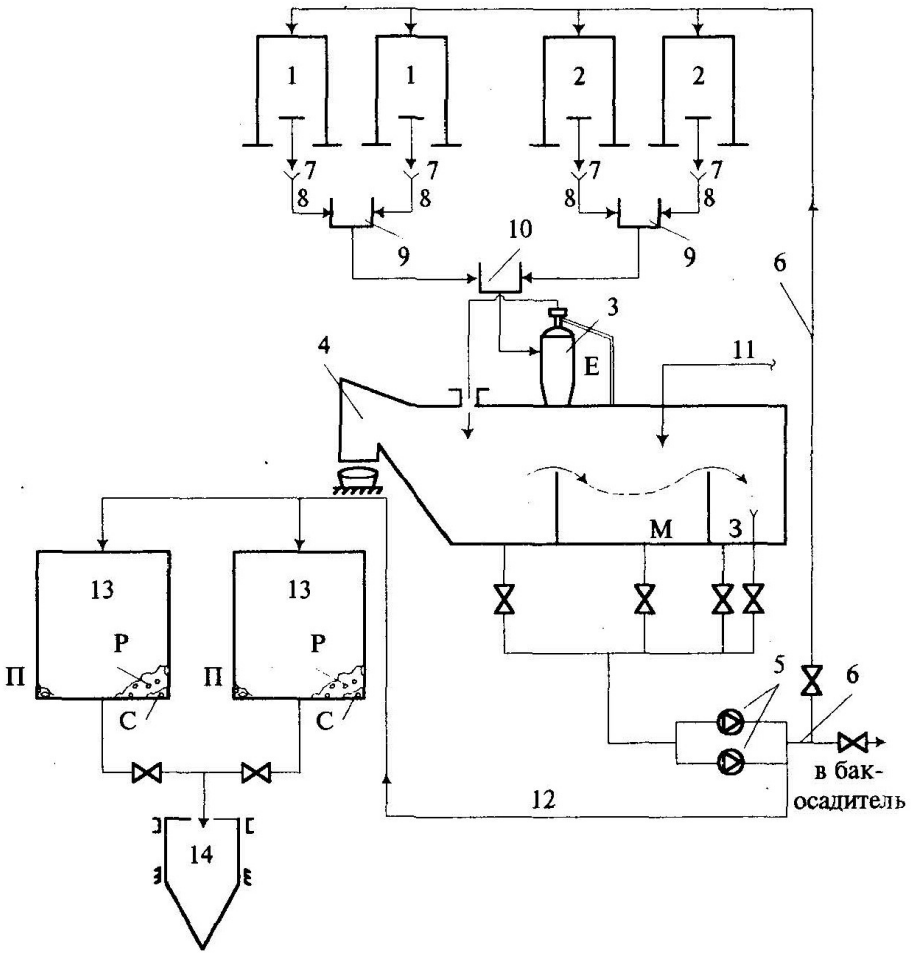
Отвори розташовані в шаховому порядку: на колекторі робочих валків 41 отвір діаметром 6 мм, на колекторі опорних валків 41 отвір діаметром 5 мм. Відстань між отворами 40 мм. Подача емульсії на валки здійснюється з передньої і задньої сторін кліті, крім четвертої кліті.

Для запобігання влучення емульсії між витками при змотуванні штаби в рулон вальцювальник стана повинен стежити за справністю пристосування, що запобігає влучення емульсії на штабу.

У момент стиснення барабана моталки для зняття рулону автоматично припиняється подача повітря на здув емульсії зі штаби. Після закріплення переднього кінця штаби в зеві барабана моталки, повітря для здування емульсії автоматично включається знову.

У процесі роботи емульсія забруднюється, випаровується й міняється її концентрація. Тому робота на емульсії з одного бака дозволяється не більше 24 годин, після чого здійснюється перемикання на емульсію з іншого бака. Емульсія з першого бака скачується й направляється на станцію розкладання. У якості заходу щодо реконструкції безперервного прокатного стану 1680 запропоновано встановити установку магнітного очищення емульсії УСОЖ-30-2, яка дозволяє видаляти з емульсії металеві великі предмети і механічні частки. Вибір такого способу очищення мастила визначається в першу чергу вимогами до чистоти мастильно-охолодної рідини. Строк експлуатації емульсії і вплив накопичення в ній механічних домішок на чистоту поверхні штаби й енергосилові параметри прокатки є одним з основних питань експлуатації емульсійних систем.

На рис. 2.1 зображена схема установки УСОЖ-30-2 для очищення змащувально-охолоджуваної рідини. Наявність домішок у ЗОР (змащувально-охолоджуваній рідині) негативно позначається на продуктивності прокатних станів, стійкості прокатних валків, точності розмірів розкату і призводить до браку з неякісною поверхнею.



1, 2 – прокатні стани; 3 – очисне устаткування (магнітний сепаратор, гідроциклон); 4 – циркуляційний бак; 5 – насоси; 6 - лінія подачі ЗОР (змащувально-охолоджуваної рідини) до станів; 7 – прийомні лійки; 8 – канали; 9, 10 – збірні колодязі; 11 - лінія подачі нової порції ЗОР; 12 - лінія подачі відпрацьованої ЗОР на очисні споруди; 13 – ємності-усереднювачі; 14 – бак-реактор для обробки емульсійних стічних вод; Е, З, П, Р, С, М – точки відбору проб шламу та його суспензій

Рисунок 2.1 - Схема установки УСОЖ-30-2 для очищення змащувально-охолоджуваної рідини

Причиною заміни ЗОР є спонтанне бактеріологічне ураження, неможливість коригування складу та підтримки значення pH системи, поява систематичної корозії на валках і розкаті.

Заміна рідини відбувається з видаленням (вручну) шламу, що осідає на дно установки, якщо мастильно-охолоджувальна рідина пропрацювала 3-4

тижні, або без видалення при раптовому розкладанні емульсії після 2-3-х днів її роботи. Відпрацьована рідина перекачується з установки в бак-осаджувач, де відбувається додаткове відстоювання шламу та олії. Олія піддається регенерації за умови виділення її з содово-нітритних розчинів. З бака-осадника відпрацьована ЗОР надходить на очисні споруди для руйнування.

2.3 Контроль, метрологічне забезпечення технології та маркування рулонів

При виявленні дефектів штаби (подряпин, відбитків, порізу, вкатаних металевих часток, плям забруднення, коробоватості, хвилястості, товстих, тонких, різнотовщинних ділянок тощо), вальцювальником здійснюється оцінка про наявність дефектів у картці (партії) на даний рулон.

Рулони для бензобаків, забраковані в травильному відділенні по розкатаних забрудненнях, недотраву, вкатаної окалині, перепризначуються на інше замовлення.

Маркування прокатаних рулонів здійснюється на прийомному жолобі стана або на транспортному рольгангу. Рулони маркіруються швидковисихаючим лаком. Маркування здійснюється на верхньому витку рулону. Вказується номер плавки, марка сталі, розміри штаби, номер замовлення й позиції, номер рулону в двох місцях і напис «підмотаний», якщо рулон підмотаний при прокатуванні. На кожний рулон, що направляється на відпал, обліковцем стана оформляється супровідна картка (партія), що з рулоном передається в термічне відділення. Картку підписує вальцювальник стана. У картку на рулони, прокачані в поле мінусових допусків, обліковцем стана ставиться штамп із вказівкою індексу ТМ і номер бригади стана, фізичної маси рулону й коефіцієнт перерахунку, знятого з табло АСУТП.

2.4 Розрахунок режиму деформації штаби й розрахунок енергосилових параметрів прокатки

Виконаємо розрахунок режиму деформації при прокатці штаби зі сталі марки 0,8пс із розмірами 0,8 × 1320 мм на НСХП 1680.

Відповідно до відомих даних приймаємо шорсткість робочих валків Ra, (мкм);

№ кліті	1	2-3	4
Ra, мкм;	4	2,5	5

Змащувально-охолодна рідина - емульсія мінерального масла з концентрацією - 4%.

Сумарне обтиснення стану:

$\varepsilon_{\sum} = 0,51+0,148(2-h)^{1,3}$

$\varepsilon_{\sum} = 0,51+0,148(2-0,8)^{1,3} = 0,698$

Вихідна товщина штаби дорівнює:

$H = h/(1-0,698) = 2,69$ мм.

Кліть 1. Визначимо параметри прокатки в кліті 1. Маючи на увазі, що швидкість валків у четвертій кліті дорівнює υ_4- 8 м/с, то з умови секундних об'ємів знаходимо швидкість у першій кліті [7]:

$$\upsilon_1 = h_4 \cdot \upsilon_4 / h_1 \qquad (2.1)$$

$\upsilon_1 = 0,8 \cdot 8/1,75 = 3,69$ м/с

Сумарне обтиснення в стані дорівнює:

$$\Delta h_{\sum} = H - h_4 \qquad (2.2)$$

$\Delta h_{\sum} = 2,7 - 0,8 = 1,9$ мм,

а обтиснення по клітях дорівнює (мм):

$$\Delta h_1 = 0,5 \cdot \Delta h_{\sum} \qquad (2.3)$$

$\Delta h_1 = 0,5 \cdot 1,9 = 0,95$ мм,

$\Delta h_2 = 0,24 \cdot 1,9 = 0,456$ мм,

$\Delta h_3 = 0,17 \cdot 1,9 = 0,323$ мм,

$\Delta h_4 = 0,07 \cdot 1,9 = 0,133$ мм.

Перевірка:

$\Delta h_{\sum} = 0,95 + 0,456 + 0,323 + 0,133 = 1,89$ мм.

Визначимо геометричні параметри*:*

$$h_1 = H_i - \Delta h_i \quad (2.4)$$

$h_1 = 2,7 - 0,95 = 1,75$мм,

$$h_{ср} = \sqrt{H_i \cdot h_i} \quad (2.5)$$

$h_{ср} = \sqrt{2,7 \cdot 1,75} = 2,17$ мм,

$$\varepsilon_1 = \Delta h_{i/} / H_i \quad (2.6)$$

$\varepsilon_1 = 0,95/2,7 = 0,351$

$$\varepsilon_{\sum 1} = (H_0 - h_i)/ H_0 \quad (2.7)$$

$\varepsilon_{\sum 1} = (2,7 - 1,75) / 2,7 = 0,351$

$$l_d = \sqrt{R_i \cdot \Delta h_i} \quad (2.8)$$

$l_d = \sqrt{250 \cdot 0.95} = 15,41$ мм.

Коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f = f_0 \cdot k_d \cdot k_n \cdot k_{см} \cdot k_t \quad (2.9)$$

де f_o - базовий коефіцієнт тертя; k_d, k_n, $k_{см}$, k_t – поправочні , враховуючі відповідно величину обтиснення, поверхні штаби, тип технологічного змащення й температуру штаби.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює [9]:

при $v < 7,5$ м/с:

$$f_0 = 0,076\text{-}0,0019 \cdot \upsilon_1 + 0,031 (R_a - 0,6) [(1,07 - 0,14 \upsilon_1)^3 + 0,054 \cdot \upsilon_1 - 0,26]; \quad (2.10)$$

$f_0 = 0,076\text{-}0,0019 \cdot 3,6 + 0,031 (4 - 0,6) [(1,07 - 0,14 \cdot 3,6)^3 + 0,054 \cdot 3,6 - 0,26] =$

$= 0,086.$

при $v > 7,5$ м/с:

$$f_0 = K_v(0,062 + 0,005(R_a - 0,6)) \quad (2.10a)$$

$$K_{пі} = 1,09 - 0,05 \cdot R_{апі} \quad (2.11)$$

$K_{пі} = 1,09 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,965,$

де $R_{апі}$ - шорсткість поверхні штаби, мкм;

$$K_d = 0,85 + 2,45 (1 - 2\varepsilon)^4 \quad (2.12)$$

$K_d = 0,85 + 2,45\ (1 - 2 \cdot\ 0,24)^4 = 1,03$,

$$K_t = a_i + c_i\ (1,11 – 0,0044 \cdot t_н)^n \qquad (2.13)$$

де $t_н$ - температура металу перед осередком деформації, ^{0}C;

для мінеральної емульсії, масел - ИС - 20, ПКС - 1: а, з, n коефіцієнти рівні:

$$a_i = 0,46 + 1,42 \cdot \varepsilon \qquad (2.14)$$

$a_i = 0,31 + 1,42 \cdot 0,35 = 0,90$

$c_i = 0,12 - 2,3\ \cdot \varepsilon = \ 0,98 + 2,3\quad 0,35 = 0,428$

$n_i = 3,84 - 4,75 \cdot \varepsilon = 3,37 + 4,75\quad 0,35= 2,23$

Для розрахунку коефіцієнта K_t у кліті 1 початкову температуру можна приймати в межах 20 - 30°С. У наступних клітях температуру штаби перед кліттю варто приймати рівною кінцевій температурі K_t у попередній кліті. Для нашого у кліті 1 приймаємо $K_t = 25\ ^0$C.

$K_t\ = 0,80 + 0,428\ (1,11 – 0,0044 \cdot 25)^{2,23} = 1,228$,

Коефіцієнт $К_{см}$ дорівнює: емульсія мінерального масла - $К_{см} = 1,0$;

Загальна величина коефіцієнта тертя :

$$f_l = f_{0i} \cdot k_{п1} \cdot k_{d1} \cdot k_{t1} \cdot k_{см} \qquad (2.15)$$

$f_l = 0,086 \cdot 0,965 \cdot 1,03 \cdot 1,228 \cdot 1,0 = 0,104$,

тертя дорівнює:

$$f_{п1} = 1,6 \cdot f_i - 0,018 \qquad (2.16)$$

$f_{п1} = 1,6 \cdot 0,104 - 0,018 = 0,148.$

Розрахуємо границю текучості металу, використовуючи дані хімічного складу сталі марки 08пс. Вуглецевий коефіцієнт для вуглецевої сталі в загальному випадку дорівнює [10]:

$$C_э = C + Si/24 + Mn/6 + Cr/5 + Ni/\ 40, \qquad (2.17)$$

$C_э = 0,08 + 0,01/24 + 0,38/6 + 0,02/5 + 0,06/40 = 0,150,$

Базова (вихідний після відпалу) границя текучості й збільшення границі текучості відповідно рівні:

$$\sigma_{т0} = 210 + 263 \cdot C_э\ , \qquad (2.18)$$

$$\Delta\sigma_т\ = 209 + 460 \cdot C_э\ , \qquad (2.19)$$

$\sigma_{т0} = 210 + 263 \cdot 0,150 = 248$ Н/мм^2 ,

$\Delta\sigma_т = 209 + 460 \cdot 0{,}150 = 278$ Н/мм^2 ,

Коефіцієнт, що враховує обтиснення, дорівнює:

для $\varepsilon_\sum = 0 - 4$

$$К_{\varepsilon 1} = 1 - (1 - \boldsymbol{\varepsilon}_{\sum 1/0},4)^{1,5 + з}, \quad (2.20)$$

Для $\varepsilon_\sum = 0{,}41 - 0{,}7$

$$К_{\varepsilon 1} = 1 + 0{,}87(\varepsilon_\sum - 0{,}4)^{0,5} \quad (2.20а)$$

$К_{\varepsilon 1} = 1 - (1 - 0{,}24/0{,}4)^{1,65} = 0{,}779$,

Швидкість деформації визначаємо по формулі:

$$u = v \cdot \boldsymbol{\varepsilon} \cdot 103/1{,}3 \cdot l_{d1}, \quad (2.21)$$

$u = 3090 \cdot 0{,}24/1{,}3 \cdot 13{,}0 = 43{,}8$ з$^{-1}$,

$$n_{u1} = 1 + 0{,}38\,(0{,}5 + \ln u / 13{,}8)^2, \quad (2.22)$$

$n_{u1} = 1 + 0{,}38\,(0{,}5 + 3{,}77/13{,}8)^2 = 1{,}225$,

$$n_t = 0{,}8 + 0{,}23\,(1 - t_i / 300)^2, \quad (2.23)$$

$n_t = 0{,}8 + 0{,}23\,(1 - 25 / 300)^2 = 0{,}993$,

Границя текучості наприкінці вогнища деформації:

$$\sigma_{т1} = n_{u1} \cdot n_t \cdot \sigma_{т0} + \Delta\sigma_т \cdot ДО_{\varepsilon 1}, \quad (2.24)$$

$\sigma_{т1} = 1{,}225 \cdot 0{,}993 \cdot 248 + 278 \cdot 0{,}779 = 517$ Н/мм^2,

Середній опір металу в осередку деформації дорівнює:

$$\sigma_ф = 1{,}15[n_t \cdot \sigma_{т(i-1)} + 0{,}67\,(\sigma_{т1i} - n_t \cdot \sigma_{т(i-1)}], \quad (2.25)$$

$\sigma_ф = 1{,}15[0{,}993 \cdot 248 + 0{,}67(517 - 0{,}993 \cdot 248)] = 492$ Н/мм^2,

Границя текучості металу на міжклітьовій ділянці:

$$\sigma_{т(i-1)} = n_t \cdot \sigma_{т0} + \Delta\sigma_т \cdot ДО_{\varepsilon 1}, \quad (2.26)$$

$\sigma_{т(i-1)} = 0{,}993 \cdot 248 + 278 \cdot 0{,}779 = 463$ Н/мм^2 ,

$$\sigma_{ср1} = 1{,}15 \cdot \sigma_{т1} \quad (2.27)$$

$\sigma_{ср1} = 1{,}15 \cdot 517 = 594$ Н/мм^2.

Напруга натягу змінюється в широких межах. Для стану перед кліттю 1 напруги $\sigma_з = 20 - 30$ Н/мм^2. На міжклітьових ділянках:

$$\sigma_п = (0{,}1 - 0{,}2)\,\sigma_{т1}, \quad а \quad \sigma_з = (0{,}1 - 0{,}2)\,\sigma_{т(i-1)}. \quad (2.28)$$

де $\sigma_п$, $\sigma_з$ – напруги переднього й заднього натягів.

$\sigma_з = 25$ Н/мм^2,

$\sigma_п = 0{,}15 \cdot 463 = 69$ Н/мм^2.

Знаходимо коефіцієнти, що враховують вплив середніх напруг натягу й напруги натягу переднього кінця штаби [11]:

$$n_{ср} = 1 - (\sigma_п + \sigma_з / 2\sigma_{порівн}), \quad (2.29)$$

$n_{ср} = 1 - (25 + 69 / 984) = 0{,}90$,

$$n_1 = 1 - (\sigma_п / \sigma_{порівн}), \quad (2.30)$$

$n_1 = 1 - (69/ 492) = 0{,}85$.

Знаходимо параметри С и X_2,

$$C = n_{ср} \cdot \sigma_ф(R / 47500), \quad (2.31)$$

де R - радіус валка.

$C = 0{,}9 \quad 492(250 / 47500) = 2{,}33$ мм ,

$$X_2 = n_1 \cdot \sigma_ф(R / 95000), \quad (2.32)$$

$X_2 = 0{,}85 \cdot 593(250 / 95000) = 1{,}32$ мм.

Складова дуги контакту дорівнює:

$$l'_c = C + \sqrt{[C^2 + 4R\,\Delta h(1 - C(f_п / 2\,h_{ср}))]} / 2(1 - C(f_п / 2\,h_{ср})), \quad (2.33)$$

$l'_c = 2{,}33 + \sqrt{[2{,}33^2 + 4 \cdot 250 \cdot 0{,}68(1 - 2{,}33 \cdot 0{,}148]\,/(2 \cdot 2{,}43))} / 2(1 - 2{,}33 \cdot (0{,}148/(2\,2{,}43)) = 14{,}8$ мм.

Справжня довжина дуги становить:

$$l_c = l'_c + X_2, \quad (2.34)$$

$l_c = 14{,}8 + 1{,}32 = 16{,}12$ мм.

Знаходимо енергосилові параметри прокатки:

При $f_п < 0{,}12$

$$C_{ні} = 0{,}17(1 + 14{,}7 \cdot f_п). \quad (2.35)$$

При $f_п > 0{,}12$

$C_{ні} = 0{,}48$.

Середній тиск дорівнює:

$$p'_{ср} = \sigma_{порівн}(1 + 0{,}48 \cdot f_п \cdot l_c / h_{ср}), \quad (2.36)$$

$P'_{ср} = 492(1 + 0{,}48 \cdot 0{,}148 \cdot 16{,}12/2{,}43) = 805$ Н/мм^2,

з урахуванням натягу:

$$p_{ср} = P_{ср}^{/} (1 - (\sigma_п + \sigma_з) / 2 P_{ср}^{/}, \quad (2.37)$$

$P_{ср} = 723(1 – (25 + 69) / 1446 = 750$ Н/мм^2,

сила прокатки дорівнює:

$$P = p_{ср} \cdot l_c \cdot B, \quad (2.38)$$

P = 750 0,01612 1,3 = 11,9 МН.

Момент прокатки з урахуванням впливу натягу дорівнює (на двох валках):

$$M = 2\psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot У \cdot R \cdot \sigma_з (1 – ((h_i/ H_i) \cdot (\sigma_п / \sigma_з)), \quad (2.39)$$

ψ - коефіцієнт положення рівнодіючих сил,

$$\psi = 0,48(l_d/ l_c)^2, \quad (2.40)$$

$\psi = 0,48(13,0/16,12)^2 = 0,31$,

M = 2 0,31 11,9 0,01612 + 0,00212 1,3 0,25 25(1 - (2,12/2,8 69/25)) =

= 0,17 МН м.

Потужність на бочку валків:

$$N = 960 \cdot M \cdot \upsilon_{1/} R , \quad (2.41)$$

N = 960 0,17 3,6/0,25 = 2538,51 КВт,

Визначимо температуру $t_к$ штаби на виході із кліті [12]:

$$t_к = t_н + \Delta t \quad (2.42)$$

де Δt - збільшення температури в осередку деформації:

$$\Delta t = 0,05m(p_{ср} + \sigma_{порівн}) \cdot ln / h_1 , \quad (2.43)$$

де m - коефіцієнт, рівний для низьковуглецевої сталі

$$m = 2,2 – 0,65(t_н /480 - 0,042)^{1,4} \quad (2.44)$$

для наших умов одержимо:

$m = 2,2 – 0,65(25/480 – 0,042)^{1,4} = 2,175$,

$\Delta t = 0,05 \cdot 2,175(676 + 492) \cdot \ln 2,8/2,12 = 61\ ^0C$,

$t_к = 25 + 61 = 86\ ^0C$.

Аналогтчно виконується розрахунок для всіх наступних клітей.

Кліть 2.

1. Визначимо геометричні параметри штаби, при прокатці в другій кліті:

$h_2 = 1,75 – 0,456 = 1,294$ мм,

$h_{ср} = \sqrt{1,75 \cdot 1,294} = 1,5$ мм,

$\varepsilon_2 = 0,45/2,7 = 0,26$

$\varepsilon_{\sum 2} = (2,7 - 1,29) / 2,7 = 0,52$

$l_d = \sqrt{245 \cdot 0,45} = 10,5$ мм.

Швидкість прокатки в кліті 2 дорівнює:

$\upsilon_2 = 0,8 \cdot 8/1,294 = 4,95$м/с

Інші параметри визначимо по алгоритму розрахунку для кліті 1:

$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 4,95 + 0,031\ (3 - 0,6)\ [(1,07 - 0,14 \cdot 4,35)^3 + 0,054 \cdot 4,95 – 0,26] = 0,069$,

$K_{п2} = 1,09 – 0,05 \cdot 1,8 = 1,8$,

де 1,8 - шорсткість поверхні штаби, мкм;

$K_d = 0,85 + 2,45\ (1 - 2 \cdot 0,29)^4 = 0,92$,

Далі маємо температуру $t_н$ з розрахунку кліті - $t_н = 86\ ^0C$;

$a_i = 0,31 + 1,42 \cdot 0,29 = 0,75$

$c_i = 1,2 + 2,3 \cdot 0,29 = 0,48$

$n_i = 3,84 + 4,75 \cdot 0,29 = 2,37$

$K_{t2} = 0,87 + 0,28\ (1,11 – 0,0044 \cdot 86)^{1,99} = 0,99$,

Коефіцієнт $K_{см}$ дорівнює: емульсія мінерального масла - $K_{см} = 1,0$.

Загальна величина коефіцієнта тертя :

$f_2 = 0,079 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 1,02 \cdot 1,0 = 0,074$,

Показник тертя дорівнює:

$f_{п2} = 1,6 \cdot 0,074 – 0,018 = 0,09$.

Вихідна границя текучості підкату $\sigma_{т0}$ розрахована раніше (для кліті 1) і вона дорівнює $\sigma_{т0}$ = 248 Н/мм^2. Зміцнення металу при $\varepsilon_{\sum}$ = 0,4 також визначене раніше й воно дорівнює $\Delta\sigma_т$ = 278 Н/мм^2. Визначимо коефіцієнт зміцнення металу при К$\varepsilon_{\sum}$ > 0,4

$К_{\varepsilon 2} = 1 + 0{,}87(0{,}44 – 0{,}4)^{0,5} = 1{,}174$

$l_d = \sqrt{245 \cdot 0{,}62} = 12{,}4$ мм,

$$l_c = 1{,}35 \cdot l_d \qquad (2.45)$$

$l_c = 1{,}35 \cdot 12{,}4 = 16{,}17$ мм,

$u = 4350 \cdot 0{,}29/16{,}74 = 118{,}11$ з$^{-1}$,

ln u = 4,32

$n_{u2} = 1 + 0{,}38\ (0{,}5 + 4{,}32/13{,}8)^{\ 2} = 1{,}25$,

$n_{t2} = 0{,}8 + 0{,}23\ (1 - 86 / 300)^2 = 0{,}917$,

$\sigma_{т1} = 0{,}917 \cdot 1{,}25 \cdot 248 + 278 \cdot 1{,}174 = 610$ Н/мм^2 ,

$\sigma_{т(i-1)} = 0{,}917 \cdot 248 + 278 \cdot 1{,}174 = 553$ Н/мм^2 ,

$\sigma_{ср1} = 1{,}15[517 + 0{,}67(610 – 517)] = 667$ Н/мм^2 ,

Задній і передній натяг штаби в кліті 2 і інші параметри рівні:

$\sigma_з = 0{,}15 \cdot 517 = 77{,}5$ Н/мм^2,

$\sigma_п = 0{,}15 \cdot 553 = 83$ Н/мм^2.

$n_{ср} = 1 - (77{,}5 + 83 / 1332) = 0{,}88$,

$n_1 = 1- (83/ 666) = 0{,}87$,

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

C = 0,88 666(245 / 47500) = 4,9 мм ,

$\sigma_{ср2} = 1{,}15 \cdot 610 = 701$ Н/мм^2 ,

$X_2 = 0{,}87 \cdot 701(245 / 95000) = 3{,}67$ мм,

$l'_c = 3{,}02 + \sqrt{[3{,}02^2 + 4 \cdot 245 \cdot 0{,}62(1 – 3{,}02 \cdot 0{,}100)]}\ /(2 \cdot 3{,}56)) / 2(1 – 3{,}02 \cdot 0{,}100)$

/(2 3,56)) = 14,6 мм.

$l_c = 14{,}6 + 3{,}67 = 16{,}17$ мм.

Знаходимо енергосилові параметри прокатки у 2-й кліті:

$C_{ні} = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,100) = 0,41$,

$p_{ср}^{/} = 666(1 + 0,41 \cdot 0,100 \cdot 16,17/1,78) = 1312,57$ Н/мм^2,

$p_{ср} = 1312,57(1 – (77,5 + 83) / 1828 = 1218$ Н/мм^2,

P = 1218 0,01617 1,3 = 14,8 МН.

$\psi = 0,48(12,4/16,17)^2 = 0,16$,

M = 2 0,282 14,8 0,01617 + 0,00212 1,1 0,245 77,5(1 - ((1,5/2,12) (83/77,5)) = 0,172 Мн м ,

N = 960 0,172 4,92/0,245 = 3165 Квт,

$m = 2,2 – 0,65(86/ 480 – 0,042)^{1,4} = 2,15$

$\Delta t = 0,05 \cdot 2,15(833 + 666) \cdot \ln 1,75/1,29 = 80\ ^0C$,

$t_к = 86 + 80 = 166\ ^0C$.

Кліть 3.

1.Визначимо геометричні параметри штаби при прокатці в третій кліті:

$h_3 = 1,29 – 0,323 = 0,97$ мм,

$h_{ср} = \sqrt{1,294 \cdot 0,97} = 1,12$ мм,

$\varepsilon_3 = 0,323 / 1,29 = 0,17$

$\varepsilon_{\sum 3} = (2,7 - 0,97) / 2,7 = 0,64$

$l_d = \sqrt{240 \cdot 0,323} = 8,8$ мм.

Швидкість прокатки в кліті 3 дорівнює:

$\upsilon_2 = 0,8 \cdot 8/0,97 = 6,5$ м/с ,

Інші параметри визначимо по алгоритму розрахунку для кліті 2:

$f_3 = 0,076 - 0,0019 \cdot 6,02 + 0,031\ (3 - 0,6)\ [(1,07 - 0,14 \cdot 6,02)^3 + 0,054 \cdot 6,02 – 0,26] = 0,070$,

$K_{п3} = 1,09 – 0,05 \cdot 1,4 = 1,02$,

де 1,4 - шорсткість поверхні штаби, мкм;

$K_d = 0,85 + 2,45\ (1 - 2 \cdot 0,33)^4 = 0,88$,

Далі маємо (температуру $t_н$ з розрахунку кліті - $t_н = 166\ ^0C$;

$a_i = 0,31 + 1,7 \cdot 0,33 = 0,71$

$c_i = 1,2 - 2,8 \cdot 0,33 = 0,54$

$n_i = 3,84 - 4,75 \cdot 0,33 = 2,5$

$K_{t3} = 0,928 + 0,221\ (1,11 – 0,0044 \cdot 166)^{1,80} = 0,966$,

Коефіцієнт $K_{см}$ дорівнює: емульсія мінерального масла - $K_{см} = 1,0$;

Загальна величина коефіцієнта тертя :

$f_3=0,070 \cdot 1,02 \cdot 0,88 \cdot 0,966 \cdot 1,0=0,060$,

Показник тертя дорівнює:

$f_{п3}= 1,6 \cdot 0,060 – 0,018 = 0,078$.

Вихідна границя текучості підкату $\sigma_{т0}$ расчитан раніше (для кліті 1) і він дорівнює $\sigma_{т0} = 248$ Н/мм^2. Зміцнення металу при $\varepsilon_{\sum} = 0,4$ також визначене раннє й воно дорівнює $\Delta\sigma_т = 278$ Н/мм^2. Визначимо коефіцієнт зміцнення металу при $K\varepsilon_{\sum} > 0,4$.

$K_{\varepsilon 3} = 1 + 0,87(0,6 – 0,4)^{0,5} = 1,389$

$l_d = \sqrt{240 \cdot 0,323} = 8,8$ мм, $\qquad l_c = 1,35 \cdot l_d$

$l_c = 1,35 \cdot 9,5 = 12,82$ мм,

$u = 6020 \cdot 0,33/12,82 = 154,9\ з^{-1}$,

$\ln u = 5,04$

$n_{u3} = 1 + 0,38\ (0,5 + 5,04/13,8)^{\ 2} = 1,28$,

$n_{t2} = 0,8 +0,23\ (1 - 166 / 300)^2 = 0,845$,

$\sigma_{т1} =0,845 \cdot 1,28 \cdot 248 + 278 \cdot 1,389 = 654$ Н/мм^2 ,

$\sigma_{т(i-1)} = 0,845 \cdot 248 + 278 \cdot 1,389 = 595$ Н/мм^2 ,

$\sigma_ф = 1,15[610 + 0,67(654 – 610)] = 735$ Н/мм^2 ,

Задній і передній натяг штаби в кліті 3 й інші параметри рівні:

$\sigma_з = 0,15 \cdot 654 = 98,1$ Н/мм^2,

$\sigma_п = 0,15 \cdot 598 = 89,2$ Н/мм^2,

$n_{ср} = 1 - (98,1 + 89,2/ 1470) = 0,87$,

$n_1 = 1- (89,2/ 735) = 0,87$,

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

$C = 0,87 \quad 735(240 / 47500) = 3,23$ мм ,

$\sigma_{ср2} = 1,15 \cdot 654 = 752$ Н/мм^2 ,

$X_2 = 0,87 \cdot 752(240 / 95000) = 1,65$ мм,

$l'_c = 3,23 + \sqrt{3,23^2 + 4 \cdot 240 \cdot 0,33(1 – 3,23 \cdot 0,078 /(2 \cdot 1,29))} / 2(1 – 3,23 \cdot 0,078/$

$/(2 \quad 1,29)) = 12,0$ мм.

$l_c = 12 + 1,65 = 13,65$ мм.

Знаходимо енергосилові параметри:

$C_{ні} = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,078) = 0,36$,

$p_{ср}' = 735(1 + 0,36 \cdot 0,078 \cdot 13,65/1,29) = 953$ Н/мм^2,

$p_{ср} = 953(1 – (98,1 + 89,2) / 1906 = 1213$ Н/мм^2,

$P = 1213 \quad 0,01365 \quad 1,3 = 12,99$ МН.

$\psi = 0,48(9,5/13,65)^2 = 0,13$,

$M = 2 \cdot \ 0,23 \cdot \ 12,8 \cdot \ 0,01365 + 0,0015 \cdot \ 1,1 \cdot \ 0,24 \cdot \ 98,1(1 - ((1,5/1,12) \cdot$

$(89,2/98,1)) = 0,118$ Мн м ,

$N = 960 \ \cdot 0,072 \cdot \ 6,02/0,24 = \ 3017$ Квт,

$m = 2,2 – 0,65(166 / 480 – 0,042)^{1,4} = 2,07$

$\Delta t = 0,05 \cdot 2,07(859 + 735) \cdot \ln 1,5/1,12 \ = \ 60\ ^0$C ,

$t_к = 166 + 60 = 226\ ^0$C.

Кліть 4.

1.Визначимо геометричні параметри штаби, при прокатці в четвертій кліті:

$h_4 = 0,97 – 0,133 = 0,82$ мм,

$h_{ср} = \sqrt{0,97 \cdot 0,82} \ = 0,9$ мм,

$\varepsilon_4 = 0,133 / 0,97 = 0,12$

$\varepsilon_{\sum 4} = (2,7 – 0,8) / 2,7 = 0,7$

$l_d = \sqrt{\ 255 \cdot 0,133} = 5,8$ мм.

Швидкість прокатки в кліті 4 дорівнює:

$\upsilon_4 = 8$ м/с ,

Інші параметри визначимо по алгоритму розрахунку для кліті 3:

$K_v = 0,56 + 0,7(1 – 0,025 \cdot 7,5)^2 = 1,02$

$f_4 = 1,02(0,062 – 0,005(5 – 0,6)) = 0,040$

$K_{п4} = 1,09 – 0,05 \cdot 2,5 = 0,965$,

де 2,5 - шорсткість поверхні штаби, мкм;

$K_d = 0,85 + 2,45\ (1 - 2 \cdot 0,24)^4 = 1,02$.

Далі маємо температуру $t_н$ з розрахунку кліті - $t_н = 226\ ^0C$;

$a_i = 0,31 + 1,7 \cdot 0,24 = 0,80$

$c_i = 0,98 + 2,3\ \cdot 0,24 = 0,428$

$n_i = 3,37 + 4,75 \cdot 0,24 = 2,23$

$K_{t4} = 0,80 + 0,428\ (1,11 – 0,0044 \cdot 226)^{2,23} = 0,803$,

Коефіцієнт $K_{см}$ дорівнює: емульсія мінерального масла - $K_{см} = 1,0$;

Загальна величина коефіцієнта тертя :

f_4=0,040· 0,965· 1,02· 0,803· 1,0=0,0316,

Показник тертя дорівнює:

$f_{п4}$= 1,6 · 0,0316 – 0,018 = 0,033 .

Вихідна границя текучості підкату $\sigma_{т0}$ расчитан раніше (для кліті 1) і він дорівнює $\sigma_{т0}$ = 248 Н/мм^2. Зміцнення металу при $\varepsilon_{\sum}$ = 0,4 також визначене раніше і воно дорівнює $\Delta\sigma_т$ = 278 Н/мм^2. Визначимо коефіцієнт зміцнення металу при K_ε $\varepsilon_{\sum} > 0,4$

$K_{\varepsilon 4} = 1 + 0,87(0,67 – 0,4)^{0,5} = 1,45$ $l_c = 1,35 \cdot l_d$

$l_c = 1,35 \cdot 7,4 = 9,99$ мм,

$u = 7500 \cdot 0,24/1,3 \cdot 7,4 = 187,1\ з^{-1}$,

ln u = 5,23

$n_{u4} = 1 + 0,38\ (0,5 + 5,23/13,8)^2 = 1,29$,

$n_{t4} = 0,8 + 0,23\ (1 - 226 / 300)^2 = 0,802$,

$\sigma_{т1}$ =0,802 · 1,29 · 248 + 278 · 1,45 = 660 Н/мм^2 ,

$\sigma_{т(i-1)} = 0,802 \cdot 248 + 278 \cdot 1,45 = 602$ Н/мм^2 ,

$\sigma ф = 1,15[654 + 0,67(660 – 654)] = 756$ Н/мм^2 ,

Задній і передній натяг штаби в кліті 3 й інші параметри рівні:

$\sigma_з = 0,15 \cdot 660 = 99$ Н/мм^2, $\sigma_п = 0,15 \cdot 602 = 90,3$ Н/мм^2,

$n_{ср} = 1 - (99 + 90,3/ 1512) = 0,87$, $n_1 = 1- (90,3/ 750) = 0,88$,

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

C = 0,87 756(255 / 47500) = 3,53 мм, $\sigma_{ср2} = 1,15 \cdot 660 = 759$ Н/мм^2 ,

$X_2 = 0,88 \cdot 759(255 / 95000) = 1,79$ мм,

$l'_c = 3,53 + \sqrt{[3,53^2 + 4 \cdot 255 \cdot 0,22(1 – 3,53 \cdot 0,033 /(2 \cdot 1,0))]} / 2(1 – 3,53 \cdot 0,033)/$

$/(2 \quad 1,0)) = 9,81$ мм.

$l_c = 9,81 + 1,79 = 11,6$ мм.

Знаходимо енергосилові параметри:

$C_{ні} = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,033) = 0,25$,

$p_{ср}' = 756(1 + 0,25 \cdot 0,033 \cdot 11,6/1,0) = 828$ Н/мм^2,

$p_{ср} = 828(1 – (99 + 90,3) / 2 \cdot 828 = 1017$ Н/мм^2,

$P = 1017 \quad 0,01160 \quad 1,3 = 11,29$ МН. $\psi = 0,48(7,4/11,6)^2 = 0,09$,

$M = 2 \cdot 0,09 \cdot 9,3 \cdot 0,0116 + 0,00112 \cdot 1,1 \cdot 0,255 \cdot 99(0,9 \cdot 90,3/99) = 0,078$ МН·м

$N = 960 \cdot 0,078 \cdot 8/0,255 = 2359,53$ кВт,

$m = 2,2 – 0,65(226 / 480 – 0,042)^{1,4} = 2,0;$

$\Delta t = 0,05 \cdot 2,0(733 + 756) \cdot 0,12 = 18^0$C , $t_к = 226 + 18 = 244^0$C.

Таблиця 2.1 - Розрахункові параметри прокатки штаби 0,8×1300 мм

№ кліті	h, мм	Δh, мм	ε, %	ε_Σ, %	$\sigma_ф$, Н/мм^2	l_c, мм	$p_{ср}$, Н/мм	P, МН
1	1,75	0,95	0,35	0,35	492	16,12	750	11,9
2	1,29	0,45	0,26	0,52	660	16,17	1218	14,8
3	0,97	0,323	0,17	0,64	735	13,65	1213	12,99
4	0,82	0,133	0,12	0,7	756	11,6	1017	11,29

Продовження таблиці 2.1

№ кліті	ψ	M, МН · м	N, кВт	V, м/с	$t_к$, ^{0}C	$f_п$
1	0,31	0,162	2538	3,69	86	0,148
2	0,16	0,172	3165	4,95	166	0,09
3	0,13	0,118	3017	6,5	226	0,07
4	0,09	0,078	2359	8,0	244	0,033

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції і роботи прокатної кліті, розрахунок її деталей на міцність

Станини робочої кліті - найбільш відповідальні деталі прокатного стану. В них монтують подушки валків, а також інші пристрої і механізми, що забезпечують задану точність прокатки і продуктивність стану. Весь тиск металу на валки, що виникає при прокатці, сприймається станинами. Тому при конструюванні й виготовленні станин особлива увага приділяється їхній міцності й твердості.

По конструкції станини ділять на дві групи: закритого й відкритого типу.

Станина закритого типу, яка використовується на безперервному 4^xклітьовому стані холодної прокатки 1680 ПАТ „Запоріжсталь” (рис. 3.1) являє собою литу масивну тверду раму; у середині її зроблене вікно для установки в ньому подушок валків; унизу станина має припливи (лабети). У припливах передбачені отвори для болтів, якими станини кріплять до плитовин. Станини цього типу, як більш міцні і тверді, застосовують у робочих клітях блюмінгів, слябінгів, тонколистових станів гарячої й холодної прокатки та іноді заготовочних і сортових станів.

Розміри станин визначаються наступними умовами:

1) можливістю розміщення у вікні станини подушок валків і кінця натискного гвинта;

2) необхідною міцністю та твердістю.

Верхню і нижню частини станин називають поперечками, а бічні - стойками (рис. 3.1). Перетин стійок роблять звичайно двотавровим або прямокутним. Стійки прямокутного перетину легше у виливку, внаслідок чого частіше використають стійки цього перетину, особливо для чотиривалкових клітей.

У верхніх поперечках станин зроблені розточення для бронзових гайок натискних гвинтів. Діаметр болтів, що скріплюють станини із плитовинами й плитовини з фундаментом, звичайно визначають зі співвідношення d = (0,09 - - 0,15) D + 10 мм, де D - діаметр робочих валків, мм.

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

На рис. 3.1 представлений загальний вид чотиривалкової робочої кліті безперервного стана 1680 для холодної прокатки штаби (шириною до 1520 мм товщиною до 0,5 мм).

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

Станини з'єднані між собою й установлені на плитовини. Робочі валки обертаються на чотирирядних конічних роликових підшипниках 260/400×255 мм. На стані встановлені гідравлічні циліндри між подушками (діаметром 120 мм при тиску рідини 10 МПа) розраховані не тільки на врівноважування верхнього робочого валка, але й на вибір зазорів у підшипниках верхнього робочого й опорного валків. Опорні валки встановлені на підшипниках рідинного тертя діаметром 900 мм (ПЖТ-900).

Робочі валки приводяться в дію від електродвигуна постійного струму типу ПБУ-215/95 потужністю (3300-2800)/2700 кВт при (110-280)/330) об/хв через шестеренну кліть, що передає максимальний крутний момент 0,2 МН м, і універсальні шпинделі. Найбільше зусилля на валки при прокатці дорівнює 17 МН.

Натискні гвинти діаметром 440 мм із кроком різьблення 10 мм приводяться в дію від двох електродвигунів (з'єднаних електромагнітною муфтою) через глобоїдні редуктори; швидкість переміщення гвинтів до 0,25 мм/с. Переміщення гвинтів униз контролюється за допомогою сельсина БД-501, з'єднаного із глобоїдним черв'яком через кінематичний редуктор. Крайнє верхнє положення гвинтів обмежується командоапаратом КА-4028-1.

По обидва боки валків встановлені плоскі проводкові столи, які призначені для правильного завдання переднього кінця штаби у валки.

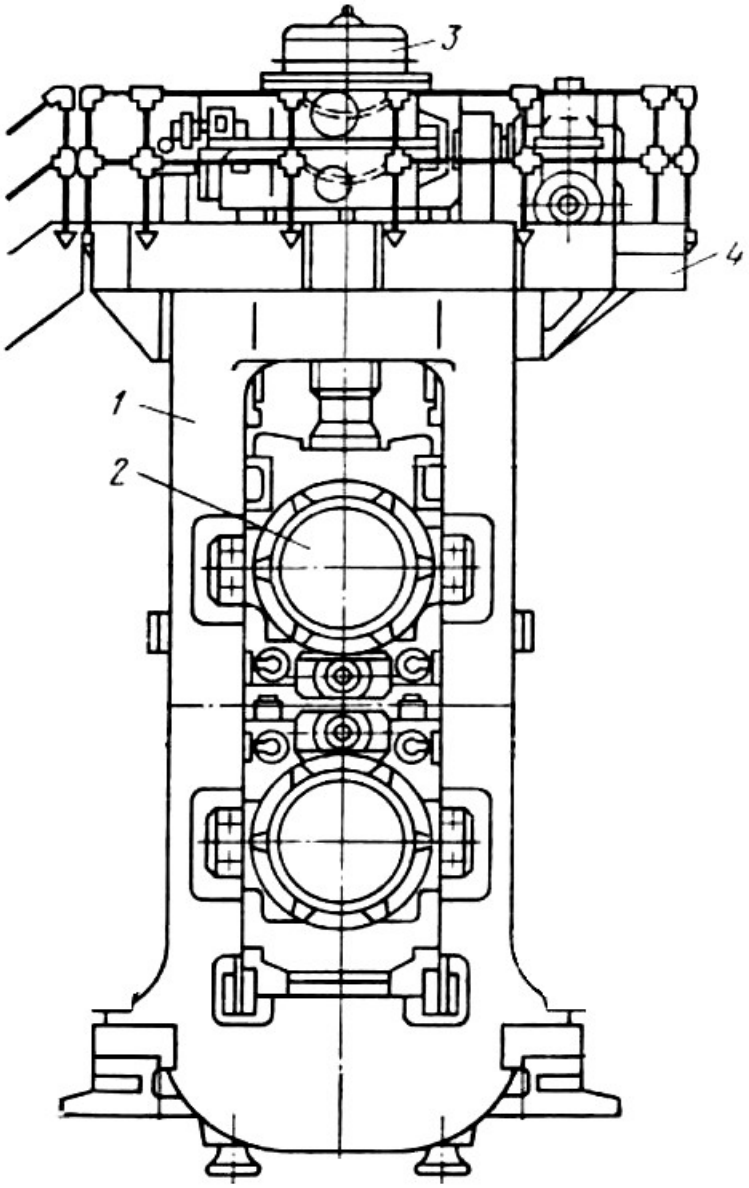


Рисунок 3.1 - Загальний вид робочої кліті прокатного стана

3.2 Розрахунок на міцність станини робочої кліті

Через складність конфігурації станини, точний розрахунок її неможливий. Однак виконання розрахунків, хоча певною мірою й наближених, необхідно для того, щоб бути впевненим, що прийняті при конструюванні розміри станини забезпечують її міцність і твердість (рис. 3.2).

Станину розраховують на максимальне вертикальне зусилля У, що діє при прокатці на шийки валків. Горизонтальні зусилля, що діють на станину в момент захвату металу валками й при прокатці штаби з натягом, можна не враховувати, тому що в порівнянні з вертикальним зусиллям їхня величина незначна.

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

Перетин А-А верхнього перетину. Площа перетину:

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

де F - площа поперечного перетину, В - ширина стійкі, Н - висота стійкі.

$$F = 1386 - 891 - 462 \cdot 693 - 478 \cdot 429 = 0{,}7097 \text{ м}^2.$$

Статичний момент перетину щодо осі Х-Х.

$$S = H/2 \cdot F_1 - F_2 \cdot h_1/h_2 - F_3 (h_1 + h_{2/2}) \quad (3.2)$$

$$S = 1{,}234926 \cdot 0{,}4455 - 0{,}320166 \cdot 0{,}231 - 0{,}205062(0{,}462 + 0{,}2145) = 0{,}337476 \text{ мм}^2$$

Ордината центра ваги:

$$Ус = S/F = 0{,}337476/0{,}709698 = 0{,}475 \text{ м}.$$

Момент інерції перетину щодо осі x_1- x_1, що проходить через центр ваги, тому що середній перетин верхньої поперечки ослаблено отвором для натискної гайки й натискного гвинта й при розточенні на верстаті цього отвору в перетині виникають концентратори напруг, то для забезпечення необхідного запасу міцності станини конструктивно приймають розміри цього перетину такими, щоб момент інерції перетину верхньої поперечки J_1 був більше моменту інерції перетину нижньої поперечки J_3.

$$J_A = J_1 - J_2 - J_3 : \quad (3.3)$$

$J_1 = B \cdot H^{3/12} + a^2F = BH \cdot H^{2/12} + BH(Yc - H/2)^2$; (3.4)

$J_1 = 1{,}386 \cdot 0{,}891 \cdot 0{,}891^2/12 + 1{,}386 \cdot 0{,}891(0{,}475 - 0{,}891/2)^2 = 0{,}0827733$ м^4;

$J_2 = b_1 \cdot h_{23/12} + a^2F_1 = 0{,}693 \cdot 0{,}462^3 + (0{,}475 - 0{,}462/2)^2 \cdot 0{,}693 \cdot 1{,}462 = 0{,}024756$ м^4.

$J_3 = b_2 \cdot h_{23/12} + a_2^2 \cdot F_2 = 0{,}478 \cdot 0{,}423^3/12 + (0{,}475 - 0{,}429/2)^2 + 0{,}478 \cdot 0{,}429 =$

$= 0{,}01706$ м^4.

$J_A = 0{,}082773 - 0{,}024756 - 0{,}0170605 = 0{,}139567$ м^4.

Мінімальний момент опору перетину:

$W_A = J_A / Yc = 0{,}139567/0{,}475 = 0{,}2862$ м^3. (3.5)

Перетин Б-Б стійки станини:

$F = BH = 0{,}726 \cdot 0{,}627 = 0{,}455202$ м^2. (3.6)

$X_C = 0.627/2 = 0{,}31$мм.

$J_Б = 0{,}726 \cdot 0{,}627^3 / 12 = 0{,}0449127$ м^4.

$W_Б = 0{,}0449127/0{,}31 = 0{,}108$ м^3.

Перетин В-В нижньої поперечки:

$F = B \cdot H = 0{,}726 \cdot 0{,}99 = 0{,}71874$ мм^2; (3.7)

$Yc = 0{,}99/2 = 0{,}49$;

$J_B = 0{,}726 \cdot 0{,}99^2/12 = 0{,}138703$ м^4.

$W_B = B \cdot H^{2/6} = 0{,}726 \cdot 0{,}99^2/6 = 0{,}24259$ м^3. (3.8)

Знаючи положення центрів ваги перетинів, будуємо нейтральні лінії поперечок і стійок, з'єднуємо їхнє закруглення в кутах й у такий спосіб одержуємо тверду раму, навантажену вертикальними силами [13]

3.2.2 Статично невизначений момент у кутах рами

$к_1 = J_1 / J_2 = J_B / J_Б = 0{,}138/0{,}0449 = 3{,}07$; (3.9)

$к_2 = l_2/l_1 = 5770/2013 = 2.86$; (3.10)

$M_1 = Y \cdot l_{1/4} = 10 \cdot 2013/4 = 5$ МН · м. (3.11)

$M_0 = 5{,}0 \cdot 1/2\ (1 + 3{,}93 + 2{,}86) = 0{,}32$ МН · м. (3.12)

З урахуванням закруглення в кутах рами M_0 майже в 2,5 рази більше отриманого результату, однак в обох випадках M_0 значно менше M_1.

$M_0 = 0{,}32 \cdot 2{,}5 \approx 0{,}8$ Мн ·м. (3.13)

3.2.3 Згинальний момент у поперечках

$МП = M_1 - M_0 = 5,0 – 0,8 = 4,2$ МН · м. (3.14)

3.2.4 Напруга вигину в середині поперечки, верхньої - перетин А-А

$\sigma_A = МП/ W_A = 4,2 \cdot 10^9/0,286 \cdot 10^9 = 14,7$ Н/мм^2. (3.15)

Нижній, перетин В-В:

$\sigma_B = 4,2 \cdot 10^9/0,2425 \cdot 10^9 = 14,1$ Н/мм^2. (3.16)

3.2.5 Напруга розтягання в стійці, перетин Б-Б.

$\sigma_B = Y/2F + M_0/W = 10 \cdot 10^6/2 \cdot 0,45 \cdot 10^6 + 1,4 \cdot 10^9/0,18 \cdot 10^9 = 11,12 + 12,9 =$
$=24,18$ Н/мм^2,

де W - моменти опору перетину поперечок, Y - згинаюча сила.

Станина виготовлена зі сталі марки 35 Л та після відпалу виливка має $\sigma_B = 500$Н/мм^2.

Запас міцності:

$n = \sigma_B/\sigma_{Max} = 500/24,18 = 20,8$ (3.17)

З урахуванням наявності концентрації напруги в розточенні під натискну гайку, приймаючи коефіцієнт концентрації до = 2,8 запас по втомлюваній міцності буде дорівнювати:

$nf = 1/2k \cdot \sigma_{B/}\sigma = 1/2 \cdot 2,8 \cdot 500/30,2 = 2,9.$ (3.18)

Мінімальний запас, що допускає, для станини по втомлюваній міцності: $[nf] = 1,5 < 2,9$ [5].

3.2.6. Деформація станини у вертикальному напрямку

Приймаючи $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм^2:

а) розтягання кожної стійки силою Y/2.

$f_1 = Y \cdot l_{2/2}E \cdot F_2 = 10 \cdot 10^6 \cdot 5770/2 \cdot 0.445 \cdot 10^6 \cdot 2,1 \cdot 10^5 = 0,3$ мм. (3.19)

б) прогин двох поперечок від вигину по формулі:

$f_2 = (Yl_{1/6} - M_0)l_{12/4}EJ_1=(10 \cdot 2013/6 – 0,8) \cdot 2013^2/4 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 0,1395 \cdot 10^{12} =$
0,13мм

в) деформація двох поперечок від дії поперечних сил

$f_3 = 1{,}2 \cdot (Y\ l_{1/2} G F_1) = 1{,}2 \cdot (10 \cdot 2013/2 \cdot 0{,}75 \cdot 10^5 \cdot 0{,}7178 \cdot 10^6) = 0{,}22$ мм.

де G - модуль зрушення.

Сумарна деформація станини у вертикальному напрямку в площині осі натискного гвинта [14]

$\sum f_{CT} = 0{,}3 + 0{,}13 + 0{,}22 = 0{,}65$ мм.

Таблиця 3.1 - Підсумкова таблиця розрахунку станини на міцність

Перетин А – А верхньої поперечки				
F, $м^2$	S, $мм^2$	Ус, м	W_A, $м^3$	J_A, $м^4$
0,7097	0,3374	0,475	0,286	0,139567
Перетин Б – Б стійки станини				
F, $м^2$	X_C, мм	$J_Б$, $м^4$	W_A, $м^3$	
0,455202	0,31	0,0449127	0,108	
Перетин В – В нижньої поперечки				
F, $м^2$	Ус,	J_B, $м^4$	W_B, $м^3$	
0,71874	0,49	0,138703	0,24259	
Статично невизначений момент у кутах рами				
$к_1$,	$к_2$,	M_1, Мн м	M_2, Мн м	
3,07	2,86	5	0,32	
Деформація станини у вертикальному напрямку				
f_1, мм	f_2, мм	f_3, мм	$\sum f_{CT}$, мм	
0,3	0,13	0,22	0,65	

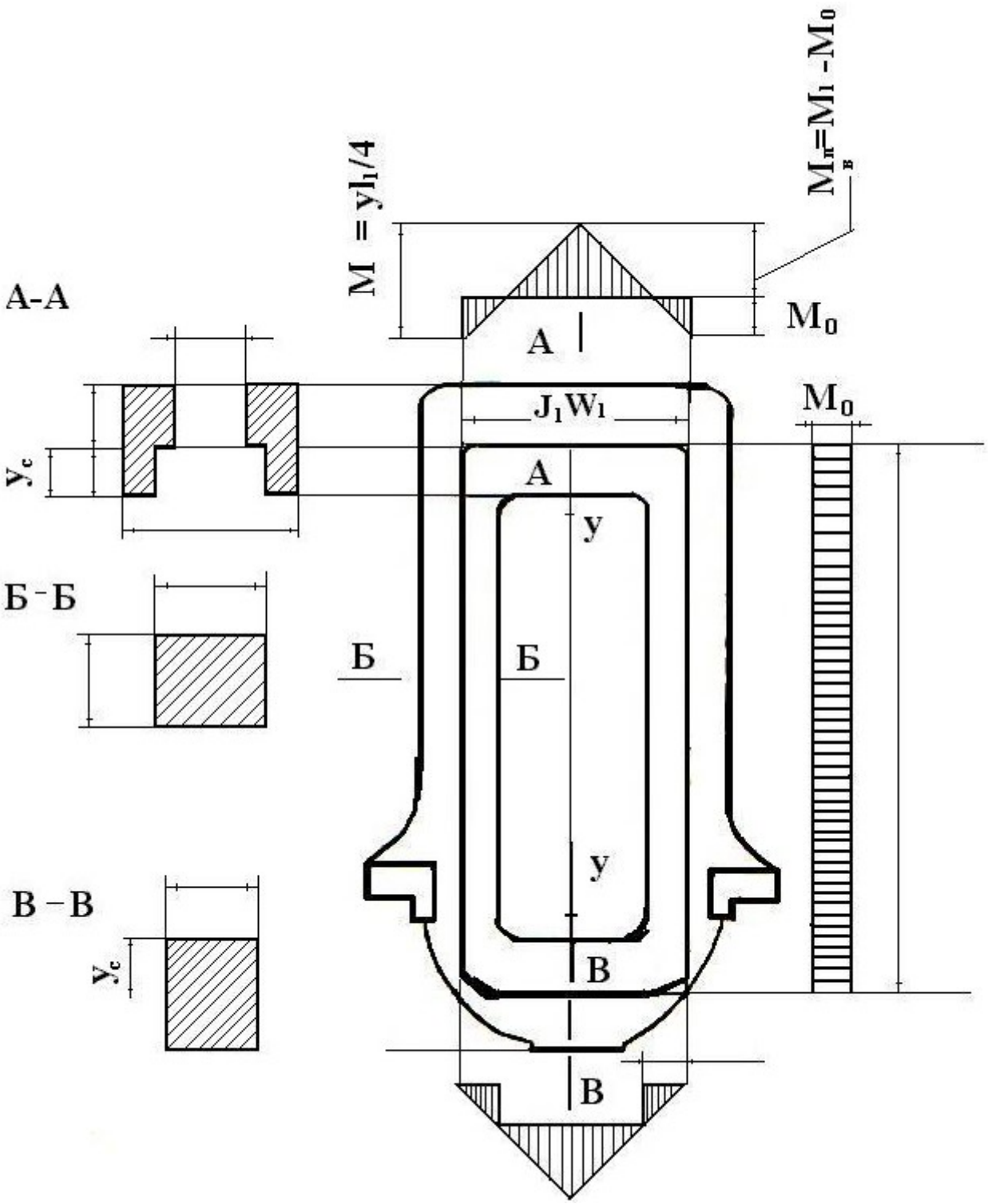


Рисунок 3.2 - Станина робочої кліті прокатного стану

3.3 Розрахунок тихохідного натискного механізму

Тихохідні натискні механізми із приводом від електродвигуна через глобоїдні черв'ячні передачі застосовують на средньолистових, тонколистових і штабових чотиривалкових станах гарячої й холодної прокатки, де швидкість переміщення валків невелика (через необхідність точного регулювання товщини листів і штаб).

На рис. 3.3 наведена кінематична схема натискного механізму чотиривалкової робочої кліті стана 1680. Привод натискних гвинтів здійснюється від двох електродвигунів 2 типи МП-82 потужністю по 115 кВт із частотою обертання 500 об/хв., установлених на одній осі й з'єднаних між собою електромагнітною муфтою 1, розрахованої на момент, рівний 3 кН · м. Обертання від електродвигунів до натискних гвинтів 6 через зубчасті муфти 3 і черв'ячні глобоїдні редуктори 4, 5. Загальне передаточне число від двигуна до натискного гвинта i = 1122; швидкість переміщення натискного гвинта 0,11-0,22 мм/с.

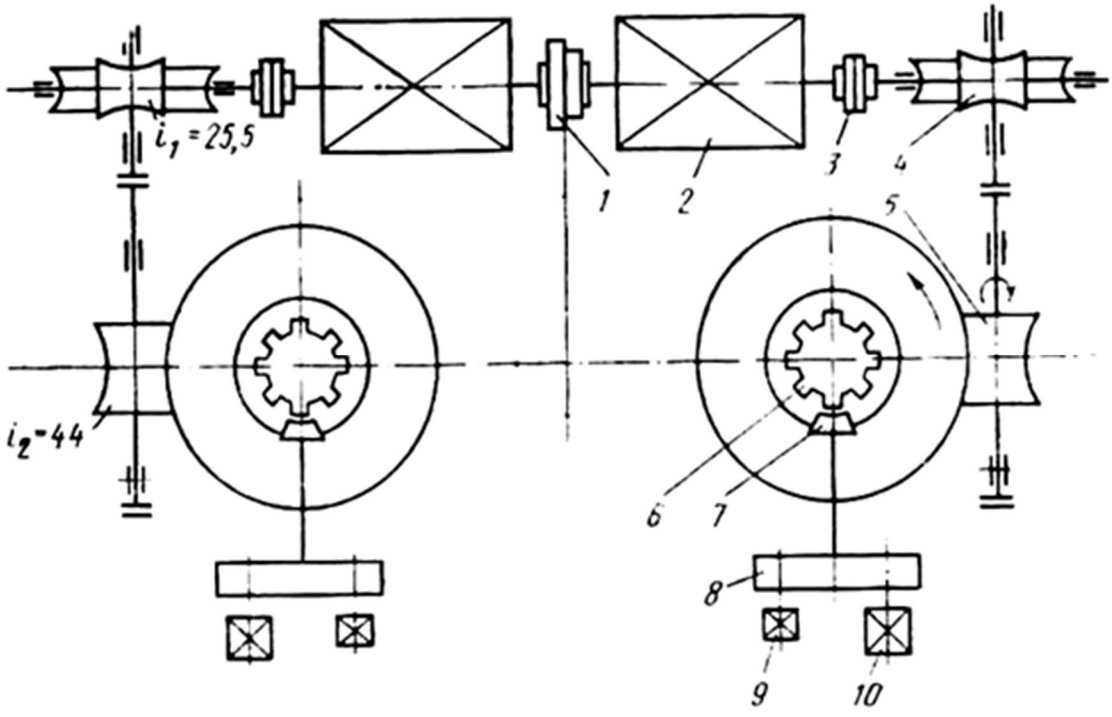


Рисунок 3.3 - Кінематична схема натискного механізму

Редуктор натискного механізму змонтований в окремому корпусі, установленому на верху станини. Крайнє верхнє положення натискного гвинта фіксується командоаппаратом 10, з'єднаним з маточиною черв'ячного колеса через конічну шестеренну передачу 7 і кінематичний редуктор 8. Положення валків контролюється сельсином-датчиком 9, що передає імпульс на сельсин-приймач, установлений на посту у вальцювальника.

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

Дано максимальне осьове зусилля на натискний гвинт при прокатці Y = =8,5МН; максимальна швидкість переміщення гвинта по вертикалі V = 0,25 м/с; режим роботи механізму - повторно-короткочасний при 15-20 включеннях у хвилину.

3.3.1. Натискний гвинт і гайка

Натискний гвинт має упорне (однобічне трапецеїдальне) різьблення УП 440 мм з кроком s = 10 мм; діаметри різьблення: зовнішній d = 440 мм, внутрішній $d_1 \approx d - 1{,}7s = 358$ мм, середній $d_2 = d - 0{,}75s = 440 - 0{,}75 \times 10 = 404$ мм;

$\alpha = \text{arctg } s/\pi d_2 = \text{arctg } 0{,}038$; $\alpha = 2^0 10'$.

Напруга стиску в перетині нижнього опорного кінця гвинта, що має найменший діаметр $d_н = 350$ мм:

$$\sigma_{сж} = 4Y/\pi d^2_н \qquad (3.20)$$

$$\sigma_{сж} = 4 \cdot 8{,}5 \cdot 10^6/3{,}14 \cdot 350^2 = 89 \text{ МПа}; \qquad (3.21)$$

Напруга крутіння в тілі гвинта при $M_в = 61$ кН · м (див. нижче)

$$\tau = M_в/0{,}2d^3 \qquad (3.22)$$

$$\tau = 6{,}1 \cdot 10^6/0.2 \cdot 350^3 = 0{,}76 \text{ Н/мм}^2 = 76 \text{ МПа}. \qquad (3.23)$$

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

Напруга зминання між витками гвинта й гайки

$\sigma_{см} = 4Y/\pi(d^2 - d^2_1)\, z = 4 \cdot 8{,}5 \cdot 10^6/3{,}14(440^2 - 358^2)\, 55 = 11{,}8 \text{Н/мм}^2 = 11{,}8$ МПа;

Напруга зминання по площі зіткнення гайки зі станиною

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

Матеріал гайки бронза марки АЖ9-4л, [σ] = 80 МПа.

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

$$M_в = Y[\mu_п \cdot d_п/3 + d_{ср}/2 \cdot tg(\alpha + \varphi)] \quad (3.24)$$

де Y – зусилля, що діє на натискний гвинт; $d_п$ – діаметр п'яти натискного гвинта; $\mu_п$ – коефіцієнт тертя в п'яті; $d_{ср}$ – середній діаметр різьблення натискного гвинта; α – кут підйому різьблення; φ – кут тертя в різьбленні між натискною гайкою й гвинтом; звичайно (при нормальному змащенні різьблення) приймають $\mu_п = 0,1$, тоді

$\varphi = 4^0 34'$, $d_п = 520$ мм; $\mu_р = 0,08$;

При опусканні гвинта

$$M'_в = 150[0,52/3 \cdot 0,1 + 0,404/2 \cdot tg(2^0 10' + 4^0 34')] \quad (3.25)$$

$M'_в = 150\ (0,017 + 0,202 \cdot 0,118) = 6,1$ кН · м;

При підйомі гвинта

$$M''_в = 150[0,52/3 \cdot 0,1 + 0,202\ tg(4^0 34' + 2^0 10')] \quad (3.26)$$

$M''_в = 150\ (0,017 + 0,202 \cdot 0,042) = 3,8$ кН · м.

3.3.3. Кожен натискний гвинт приводиться від окремого електродвигуна постійного струму потужністю 180 кВт, 500 об/хв; номінальний момент електродвигуна при $\omega_н = \pi/30 \cdot n_н$

$$M_н = N_н/\ \omega_н = 30/\pi \cdot N_н/\ n_н \approx 9,56 \cdot N_н/\ n_н \quad (3.27)$$

$M_н = 9,56 \cdot 180/500 = 3,44$ кН · м.

Між двигуном і натискним гвинтом є зубчаста передача з передаточним числом і = 4,5; к.к.д. передачі η = 0,97. Моменти на гвинті (статичні, від постійного навантаження Y = 150 кН), наведені до вала електродвигуна:

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

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

3.3.4. При повторно-короткочасному режимі електродвигуни працюють при часто повторюваних прискореннях і з (пуск - гальмування). Для розгону обертових мас від електродвигуна будуть потрібні додаткові моменти й потужність.

Визначимо цей додатковий момент.

Моменти інерції, кг · м^2: якоря електродвигуна 25 (за каталогом); проміжних шестірень 220; натискного гвинта 80. Наведений до вала електродвигуна момент інерції всіх обертових мас.

$J_{пр} = 25 + 220 + 80/i^2 = 25 + 300/4{,}5^2 = 40$ кг · м^2.

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

а) при опусканні натискного гвинта при $\varepsilon = 50$ 1/з^2

$$M'_{дин} = J_{пр}\,\varepsilon = 40 \cdot 50 = 2000 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2 \text{ м (Н} \cdot \text{м)} = 2 \text{ кН} \cdot \text{м}; \qquad (3.28)$$

б) при підйомі натискного гвинта при $\varepsilon = 60$ 1/з^2

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

Моменти на валу електродвигуна в період розгону:

а) при опусканні натискного гвинта

$$M'_{дв} = M'_{ст} + M'_{дин} = 1{,}42 + 2{,}0 = 3{,}42 \text{ кН} \cdot \text{м}; \qquad (3.29)$$

б) при підйомі натискного гвинта

$M''_{дв} = M''_{ст} + M''_{дин} = 0{,}89 + 2{,}4 = 3{,}29$ кН · м.

Вивід: при повторно-короткочасному режимі роботи електродвигуна основне навантаження становлять динамічне (а не статичні) моменти. Тому що $M_{дв\ max} = 3{,}42$ кН · м менше $M_н = 3{,}44$ кН · м, то електродвигун забезпечить заданий режим роботи. Крім того, електродвигун допускає короткочасне двократне перевантаження по моменті, що може бути використана при пікових навантаженнях (наприклад, при відводі натискних гвинтів при пробуксовці валків по металі, що прокатується, коли зусилля на гвинт більше прийнятого вище в розрахунку при визначенні $M_н$.

3.4 Розрахунок робочих і опорних валків

Виходячи з розрахунку енергосилових параметрів при прокатці штаби шириною 1300 мм, максимальне зусилля на валки становить P = 17 МН, а максимальний крутний момент на одному робочому валку $M_{кр}$ = 100 кН · м. Схема до розрахунку наведена на рис. 3.4.

3.4.1 Визначаємо розподіл зусилля між робочими й опорними валками.

$$(Д_{оп}/Д_{раб})^4 = (1{,}21/0{,}465)^4 = 2{,}6^4 = 45{,}69 \quad (3.30)$$

$$P_р = P \cdot \frac{1}{1+(Доп/Драб)^4} = 17/46{,}7 = 0{,}363 \text{ МН}. \quad (3.31)$$

$$P_{оп} = P - P_р = 17 - 0{,}363 = 16{,}637 \text{ МН} \quad (3.32)$$

Таким чином, що працюють валки сприймають тільки $\frac{0{,}363}{17}$ 100 2,14 % від загального тиску на валки при прокатці.

3.4.2 Напруги в робочому валку

Напруги в робочому валку при $a^{/}$ = 2700 мм. Максимальний згинальний момент посередині бочки від вертикального зусилля $P_р$:

$$M_р = P_р \cdot l/8 \quad (3.33)$$

$$M_р = 363/8(1{,}68 + 2 \cdot 0{,}124) = 87 \text{ КН} \cdot \text{м}.$$

Максимальний згинальний момент від різниці горизонтальних напруг штаби (для одного валка)

$$M_т = 1/2 \cdot P/4\ (a^{/} - в/2) \quad (3.34)$$

$$M_т = 363/8\ (1{,}663 – 1{,}5/2) = 42 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Результуючий момент (згинаючий) посередині бочки робочого валка

$$M_{раб} = \sqrt{M_р^2 + M_т^2} \quad (3.35)$$

$$M_{раб} = \sqrt{87 + 42} = 129 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Максимальна напруга вигину посередині бочки валка

$$\sigma = M_{раб}/0{,}1 \cdot d_p^3 \qquad (3.36)$$

$$\sigma = 129/0{,}1 \cdot 465^3 = 12 \text{ Н/мм}^2.$$

Напруга крутіння на шейку валка

$$\tau = 130{,}4 \cdot 10^6 \cdot 2{,}1/0{,}2 \cdot 260^3 = 77{,}9 \text{ Н/мм}^2.$$

3.4.3 Напруга в опорному валку.

Максимальний згинальний момент і напруга по середині бочки валка знаходимо по формулі:

$$M_{оп} = p_{оп}/4 \cdot a/ \qquad (3.37)$$

$$M_{оп} = 16{,}63/4 \cdot 2{,}7 = 11{,}2 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

Напруга вигину в небезпечному перерізі

$$\sigma = p/2 \cdot l / 0{,}1 \cdot d_p^3 \qquad (3.38)$$

$$\sigma = 16{,}63 \cdot 0{,}5/0{,}1 \cdot 0{,}8 = 52 \text{ Н/мм}^2.$$

Робочий валок виготовлений зі сталі марки 9Х2, а опорний зі сталі 9ХФ, для яких $\sigma_s = 600$ Н/мм^2, $\tau_s = 500$ Н/мм^2 і межа утоми $\sigma_н = 400$ Н/мм^2.

Коефіцієнт запасу міцності від границі текучості:

$n_\sigma = 600/52 = 11{,}5$ $\qquad$ $n_\tau = 500/77{,}9 = 6{,}4$

$n_\sigma > [n] = 5$ $\qquad$ $n_\tau > [n] = 5$

3.4.4 Контактна напруга в поверхневому шарі валків

а) робочі й опорні валки сталеві, значить контактна напруга визначаємо по формулі:

$$\sigma_{max} = 0{,}418vq/R_{пр}, \qquad (3.39)$$

$$q = p/l$$

де q - навантаження на одиницю довжини валка; p - зусилля на валок при прокатці; l - довжина контакту по утворюючої хитка; E - модуль пружності матеріалу валка; (E = 2,15 · 10^5 Н/мм^2); $R_{пр}$ – наведений радіус контактної поверхні.

$$R_{пр} = R_1 + R_2/R_1R_2 = 1/1/R_1 + 1/R_2 = 168 \text{ мм}. \qquad (3.40)$$

$$q = 1{,}657 \cdot 10^6/1500 = 110466 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{кін} = 0{,}418\sqrt{110466 \cdot 2{,}15 \cdot 10^5/168} = 1571 \text{ Н/мм}^2.$$

3.4.5 Визначаємо прогин опорного валка

$$J_{оп} = \pi/64 \cdot D^4 \quad (3.41)$$

$$J_{оп} = 3,14/64 \cdot 1,3^4 = 0,14 \text{ м}^2$$

$$(J_1/J_2) = (D_{оп}/d_ш)^4 = (1,3/0,8) = 6,97 \quad (3.42)$$

$$(D_{оп}/d_ш)^2 = (1,3/0,8)^2 = 3,5, \quad (3.43)$$

$$E = 2,15 \cdot 10^{11} \text{ Н/мм}^2,$$

$$G = 0,82 \cdot 10^{11} \text{ Н/мм}^2.$$

$$f_1 = p/384 \, E \, J_1 [8а^3 – 4ав^2 + в^3 + 64з^3(J_1/J_2 - 1)], \quad (3.44)$$

$f_1 = 16,572 \cdot 10^6/384 \cdot 215 \cdot 10^{11} \cdot 0,14 [8 \cdot 2.73 – 4 \cdot 2,7 \cdot 1,5^2 + 1,5^3 + 64$
$0,55^3(6,9 - 1)] = 0,34$ мм.

$f_1 = 16,572 \cdot 10^6/3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^{11} \cdot 1,3^2 \cdot [2,7 – 1,5/2 + 2 \cdot 0,55(2,64 - 1)] = 0,17$ мм.

Сумарний прогин опорного валка по середині бочки:

$$f = f_1 + f_2 \quad (3.45)$$

$$f = 0,34 + 0,17 = 0,51 \text{ мм}.$$

Для компенсації впливу прогину на товщину штаби, на одному з робочих валків необхідно зробити опуклість 0,20 - 0,80 мм.

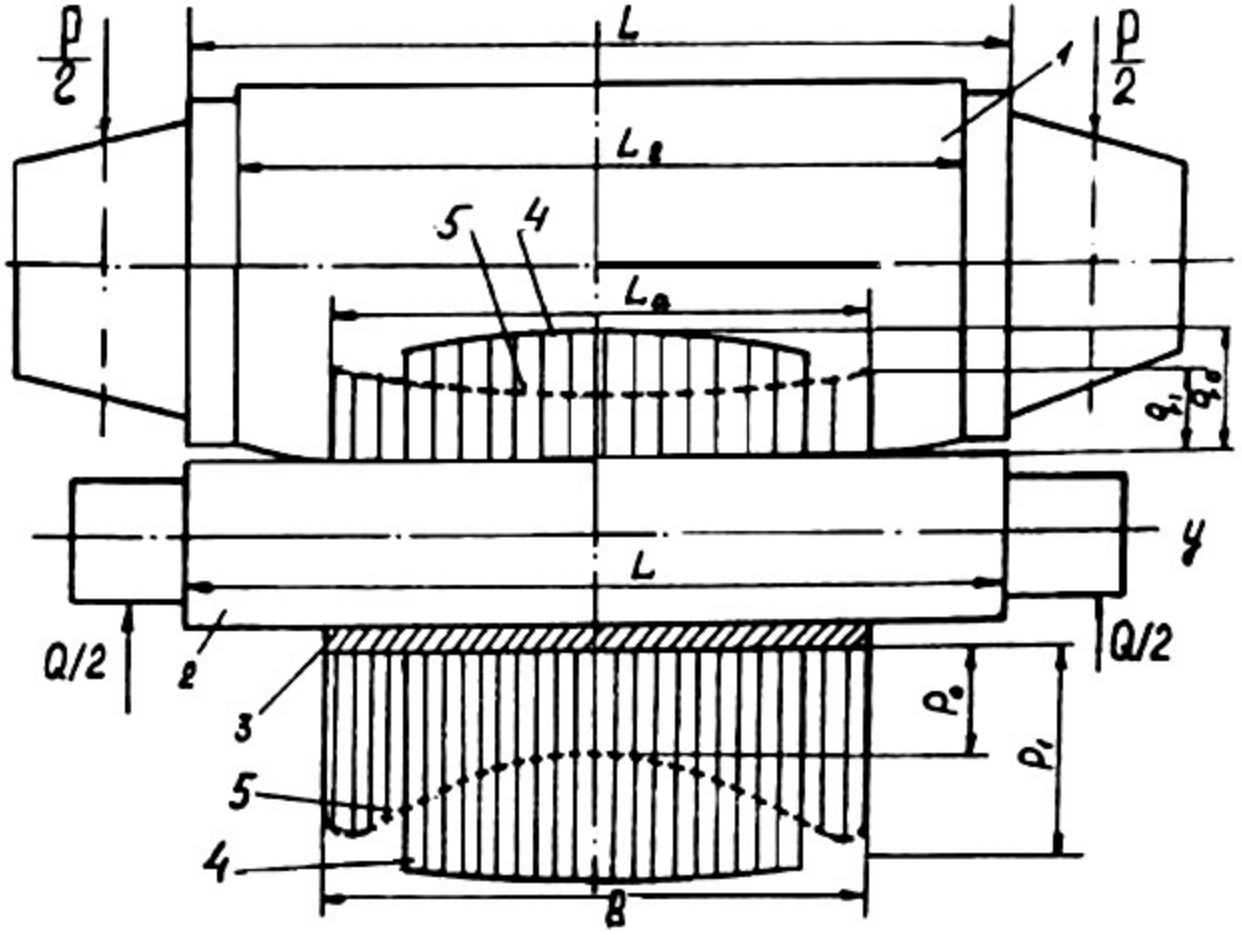
3.4.6 Визначаємо пружне сплющування в місці контакту опорного й робітника валків по формулі:

$$\delta = 0,566 \cdot q/E_{пр} \ln(4,8 \cdot 10^3 \, E_{пр}/q \cdot R_1 + R_2/R_1 \cdot R_2) \quad (3.46)$$

$\delta = 0,566 \cdot 11046/2,15 \cdot 10^5 \cdot \ln(4,8 \cdot 10^3 \cdot (2,15 \cdot 10^5/11046) \cdot 1/168) = 0,246$ мм.

Сумарне пружне радіальне сплющування двох пар валків робочої кліті кварто:

$\delta_{до} = 2\delta = 0,24 \quad 2 = 0,48$ мм, $< [\delta] = 0,5$.



1-опорний валок; 2-робочий валок; 3-штаба; 4-епюри q(y) і p(y) при прокатці вузьких штаб; 5-теж при прокатці широких штаб

Рисунок 3.4 - Валки до розрахунку чотиривалкового стана. Нерівномірний розподіл тиску q(y) між опорним і робітником валками й штабою p(y).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

ЦХП-1 належить до II б категорії за ДСТУ 12.1.005-88, тому що витрата енергії робітника становить приблизно 178 ккал/год. На безперервному стані холодної прокатки «1680» такі шкідливі фактори, як теплове випромінювання й вібрація, відсутні. На безперервному стані холодної прокатки «1680» застосовуємо безперервний процес прокатки, тобто метал перебуває відразу у всіх клітях, які зменшують час процесу прокатки й кількість допоміжних операцій; це зменшує можливі випадки травматизму [14].

Слід зазначити, що умови роботи вальцювальників на безперервному стані холодної прокатки «1680» ускладняються тим, що їхня робоча зона розташована в безпосередній близькості до стана й незахищена закритою кабіною. Через застосування постійно розширюваного асортименту мастил, необхідних для забезпечення високошвидкісного процесу, у повітрі робочої зони можливе надходження низько- і високомолекулярні жирні кислоти, окис вуглецю, хлор, аерозолі мастила. Це вимагає оснащення безперервного стана холодної прокатки «1680» місцевою витяжкою і вентиляцією. Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, шумозахисні кабіни пультів керування), а також виключати можливість ведення процесу при несправності кінцевих вимикачів, пристроїв заземлення, огороджень робітників; вимикання стана при перебуванні працюючих у небезпечній зоні біля стана. Щоб уникнути травмування, повинні бути виключені всі роботи з ручним завданням розкату або іншими операціями на стані. Спостерігаються випадки травмування частинами валків, які відлітають, та іншими частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їхнє руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

Вальцювальники і їх підручні повинні дотримувати ряду правил техніки безпеки [14]. Насамперед, це стосується робіт, пов'язаних з перебуванням працюючих біля робочої кліті стана: перевалки, зачищення, чищення емульсійного колектора. Варто видалити з кліті залишки масла або емульсії, покласти внизу дошку й після цього приступитися до роботи. Перед пуском стана вальцювальник повинен переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні біля стана, справності кнопки аварійної зупинки. Біля стана не повинно бути обривів металу, деталей стана. Проходи повинні бути вільні, підлога сухою й чистою, перекритою гофрованими металевими плитами. Необхідно перевірити справність захисних корпусів, які заземлюють електродвигуни й апаратуру, а також огороджень, стелажів, прийомного стола, кріплень, що рухаються й обертаються.

Травмонебезпечні операції по стропуванню й перевезенню валків на візку: останні повинна завантажуватися не вище бортів. При стропуванні й знятті валків працюючий повинен стояти збоку візка.

Пари змащуючо-охолоджувальної рідини можуть викликати роздратування слизуватої оболонки верхніх дихальних шляхів. На ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680», внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 Дб при нормі 85 Дб ДСТУ 12.1.003-83.

Установлено наступні ПДК пилу в повітрі робочих приміщень. При наявності пилу, що містить більше 70 % вільного двоокису кремнію (SiO_2), - 1 мг/м^3; от 10 до 70 % - 2 мг/м^3. Для азбестового й змішаного пилу, що містить більше 10 % азбесту - 2 мг/м^3.

Згідно карти оцінки факторів виробничого середовища оператори поста керування і вальцювальники мають право на пенсію за списком №1 (вплив одночасно двох факторів третього ступеня), додаткова відпустка тривалістю 11 днів.

Оцінка шкідливих факторів виробничого середовища й трудового процесу наведена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу (професія - вальцювальник)

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ПДК, ПДУ)	Фактич. значен.	III клас- шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора %, за зміну
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3:						
	I клас небезпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,014	1,4			90
	II клас небезпеки						
	Моноетаноламін	0,5	1,64		3,2		90
	Кислота сірчана	1,0	3,1		3,1		
	Етилмеркаптан	1,0	1,42	1,4			
	III - IV клас небезпеки						
	Аміак	20,0	25,7	1,3			90
	Масла мінеральні	5,0	26,5		5,3		90
	Етиленгликоль	5,0	7,8	1,56			90
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м^3	4,0	17,5		4,4		90
3	Вібрація (загальна й локальна),дб						
4	Шум, дБА	80	105			25	100
5	Мікроклімат у приміщенні: (теплий період)						
	- температура повітря, С^0	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,5	0,12				100
	- відносна вологість повітря, %	70	80	10			100
6	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	411		411		83

Примітка: Категорія ваги праці (легка, середньої ваги, важка)

Категорія напруженості праці (мало-, помірковано напружена, дуже напружена)

4.2 Засоби захисту від небезпечних і шкідливих факторів

4.2.1 Засоби індивідуального захисту

Захист тіла людини від впливу шкідливих факторів забезпечується застосуванням спецодягу, взуття, головного убору й рукавиць (табл. 4.2). Забороняється працювати в брудному й рваному спецодязі.

Таблиця 4.2 - Розрахунок норми необхідної кількості засобів індивідуального захисту працюючих на ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680»

Професія	Індивідуальні засоби захисту	Кількість людей за професією	Строки носіння в місяцях	Кількість одягу за т
Майстер	Костюм х/б Черевики шкіряні Рукавиці брезентові.	1	12 12 1	1 1 12
Вальцювальник	Костюм х/б Черевики шкіряні Рукавиці брезентові	14	12 12 1	14 14 168

4.2.2 Запобіжні заходи від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Наявність усіляких небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища вимагає розробки мір захисту від їхнього негативного впливу.

Пропонуються інженерні рішення, що забезпечують механізацію й автоматизацію виробничих процесів, герметизацію встаткування, що є джерелом виділення шкідливих речовин, а також рішення, що дозволяють безпечно для працюючих експлуатувати технологічне встаткування (сигналізація, дистанційне керування з пульта, підривні або запобіжні клапани й ін.), наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічні засоби захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор (припустиме значення)	Проектований захисний пристрій	Тип пристрою	Місце установки
Рухливі частини технологічного встаткування та штаба	Захисні кожухи, поруччя, огородження	Стаціонарні, переносні	Окремі вузли встаткування, ділянки тощо. Технологічні лінії
Електромагнітне поле (20 В/м)	Захисні екрани	Стаціонарні, переносні	Перед джерелом випромінювання
Іонізуюче випромінювання (0,0072 А/кг)	Корпус приводів виготовляють із матеріалів поглинаючих або що екранують дане випромінювання	Стаціонарні, переносні	Перед джерелом випромінювання
Шум (80 дБ)	Захисні екрани, звукоізоляційні пости, засоби індивідуального захисту	Стаціонарні, переносні	Пости керування станом
Електричний струм (не більше 0,01 А)	Ізоляція всіх провідників електроструму й струмоведучих частин, заземлення встаткування	Стаціонарні, переносні	Місце установки встаткування або проведення ремонтних робіт
Технологічний пил та інші виділення газів в атмосферу	Система витяжок і вентиляції, індивідуальні засоби захисту	Стаціонарні, переносні	Між робочими клітями, під моталкою

4.3 Пожежна безпека

Відповідно до СНіП 11-2-80 виробництво холоднокатаного листа належить до категорії Д, як виробництво, пов'язане з обробкою неспаленних речовин і матеріалів у холодному або теплому стані [14].

По класифікації пожежних зон прокатний цех і лінія по виробництву холоднокатаного листа належать до зони класу П-IIа, тобто приміщення, у яких міститися тверді речовини, не здатні переходити у зважений стан. Будинок ЦХП-1 ПАТ "Запоріжсталь" належить до IV ступеня вогнестійкості.

Джерелами виникнення пожежі можуть бути:

- газоповітряні вибухонебезпечні суміші (кисень, природний газ);
- масло при влученні на нього відкритого вогню;
- електроустаткування - при короткому замиканні, статична електрика;
- грозові розряди;
- самозаймання промаслених відходів.

Газорятувальні служби здійснюють постійний контроль за станом і герметичністю газопроводів, газових засувок. На всіх нагрівальних пристроях установлені клапани безпеки, які перекривають доступ газу до колекторів у випадку аварійної ситуації (відключення головного вентилятора, падіння тиску в газовій магістралі тощо), спрацьовує світлова й звукова сигналізація.

Електроустаткування виконується у вибухобезпечному виконанні (двигуни, висвітлення). Промаслену деталь збирають у металеві ящики, вивозять у спеціально відведені місця й спалюють. Для запобігання небезпеки поразки блискавкою застосовується комплекс захисних пристроїв, які забезпечують безпеку людей, схоронність будинків і споруджень.

На випадок виникнення загоряння використовуються первинні засоби пожежогасіння відповідно нормам (табл. 4.4). Для гасіння пожеж використовується також вода технічна, пожежні гідранти, пісок, повстина.

Таблиця 4.4 - Розрахунок первинних засобів пожежогасіння для ділянки безперервного стана холодної прокатки «1680»

Найменування приміщень, споруджень, установок	Од. виміру	Пінні вогнегасники ОХП-10	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском, ємністю 0,5 м^3
			ОУ-2	ОУ-5	УП-1	
Ділянка стана 1680	10210 м^2	11	3	6	1	2
Пости керування	11 шт.	3	4	2	2	-
Електромостовий кран	2 шт.	-	1	2	-	-
Вентиляційні установки	3 шт.	2	2	3	2	1

4.4 Електрична безпека

Широке використання електричного струму для найрізноманітніших цілей надає питанням захисту від його впливу на людський організм важливе значення. Електробезпечність - це комплекс мір, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом.

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

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

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушення ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах. Фактичне значення струму на ділянці I = 5,9 А, напруги відповідно U = 220 - 380 В.

Однією з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції. При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруги може випадково з'явиться на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині), які в нормальному положенні не перебувають. При сполученні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека поразки електричним струмом. Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосередньому зіткненні з відкритими струмоведучими частинами й проводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або впливом при помилковій подачі напруги під

час ремонтів й оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, що випадково опинилися під напругою; при впливі крокових напруг й ін.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне встаткування: електричний привод (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні й освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Міри захисту від поразки електричним струмом:

У прокатних цехах використають наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до встаткування, що випадково опинилося під напругою;

в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огородження й ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги. У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простим і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, що з’явилися випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпеку поразки людини, що доторкнулася до них.

Приєднання корпусів й інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючої нульової проводки; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення - перетворити пробій на корпус у коротке замикання струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

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

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні й додаткові захисні засоби. До основного належать захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки й при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебувають під напругою. До додаткового належать засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів й які забезпечують безпеку при напрузі дотику й кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту належать: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки ін.

Вибір схеми мережі:

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

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самою оптимальною є чотирипроводна мережа із глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використати дві робочих напруги - лінійна і фазна. Від чотирипровідної мережі 380 V можна живити як силове навантаження - трифазне або однофазне, включаючи її між фазним і нульовим проведеннями, тобто на фазну напругу 220 V при цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів, меншого перетину проводів і т.д.

ВИСНОВКИ

1. У загальній частині роботи наведено класифікацію прокатних станів, характеристику устаткування та технології виробництва тонких штаб на неперервних станах холодної прокатки, сортамент продукції і її якість.

2. У технологічній частині роботи виконано розробку заходів щодо підвищення якості холоднокатаних штаб шляхом впровадження нової системи для очищування емульсії на безперервному стані холодної прокатки «Тандем» 1680 ПАТ «Запоріжсталь». Запропоновані заходи дозволяють визначити оптимальні параметри роботи системи очищення емульсії, поліпшити площинність холоднокатаних штаб, покращити умови роботи валків під час прокатки.

3. Для підвищення якості холоднокатаної штаби та усунення дефектів в якості одного із заходів реконструкції стану запропоновано замінити електричну систему приводу натискного механізму на електрогідравлічну систему.

4. Виконано розрахунки раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаб зі сталі 08пс з розмірами 0,8×1320 мм, а також запропоновано встановити установку магнітного очищення охолоджувально - змащуючої рідини УСОЖ-30-2 на стані 1680.

5. У механічній частині роботи розглянуто конструкцію вузлів і механізмів головної лінії прокатної кліті, наведено розрахунок на міцність і деформацію робочих і опорних валків і станини робочої кліті, розрахунок тихохідного натискного механізму.

6. У розділі Охорона праці і техногенна безпека наведено аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища, засоби захисту від небезпечних і шкідливих факторів: засоби індивідуального захисту, запобіжні заходи від впливу небезпечних і шкідливих факторів, пожежна і електрична безпека.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley end Sons, Inc. 2000. Canada.
2. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.
3. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
4. Ніколаєв В. О. Калібрування прокатних валків : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 158 с.
5. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник. Кривий Ріг : Видавничій центр КНУ, 2017. 169 с.
6. Василев Я.Д., Мінасв О.А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
7. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.
8. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.
9. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.
10. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.
11. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.

12. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation canter when rolling a metal strip. Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.
13. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.
14. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 ”Обробка металів тиском”. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.