

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

( назва факультету )

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри )

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти магістерський

(другий (магістерський) рівень)

на тему Удосконалення технології прокатки холоднокатаної штаби 0,8×1250 мм із сталі 08пс на стані холодної прокатки

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Довгань Микита Віталійович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Довгань Микита Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення технології прокатки холоднокатаної штаби 0,8×1250 мм із сталі 08пс на стані холодної прокатки

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “04” 03 2023 року № 1580-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Визначення режиму прокатки штаби розмірами 0,8×1250 мм зі сталі 08пс при прокатуванні на неперервному стані холодної прокатки 1680

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-розрахункова частина, Економічні аспекти проблеми удосконалення технології прокатки холоднокатаної штаби, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
*Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)*

---

---

---

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розділ 4</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 17.09.2023

---

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.09.- 12.10.2023	
2	<i>Реферат</i>	12-16.10.2023	
3	<i>Розділ 1</i>	29.10- 11.11.2023	
4	<i>Розділ 2</i>	30.10- 07.12.2023	
4	<i>Розділ 3</i>	17-31.11.2023	
5	<i>Розділ 4</i>	24-31.11.2023	
6	<i>Висновки</i>	04.12.2023	

Студент \_\_\_\_\_ М.В. Довгань  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

## Реферат

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи містить 80 сторінок, 16 рисунків, 7 таблиць, 22 джерел.

**Мета роботи** – розробка технології прокатки холоднокатаної штаби  $0,8 \times 1250$  мм із сталі 08пс на стані холодної прокатки 1680.

Проаналізовано вплив факторів прокатки (температура, швидкість, сила тертя) на режим деформації штаби.

Наведено результати теоретичних досліджень впливу температури заднього кінця штаби на параметри прокатки. Показано вплив підвищення температури штаби на ділянках перехідних процесів (задній кінець штаби і зварений шов). Збільшення швидкості прокатки перед входом задньої ділянки штаби в кліть № 1 дозволяє зменшити енергосилові параметри прокатки, заднє стовщення штаби, а також витрата металу в обріз. Визначена найбільш ефективна температура вихідного підкату в межах  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при якій відбувається помітна зміна параметрів деформації.

Розрахунки режиму деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби розмірами  $0,8 \times 1000$  мм показали максимальну силу та максимальну потужність на валу двигуна.

Розрахунок на міцність робочих і опорних валків показали, що за даних умов навантаження електродвигун забезпечить заданий режим роботи.

**ПРОКАТУВАННЯ, ПОЗДРВЖНЯ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ,  
ПОТОВЩЕНИЙ КІНЕЦЬ, КЛІТЬ КВАТРО, ШТАБА, ШВИДКІСТЬ**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА .....	7
1.1 Опис існуючого технологічного процесу та обладнання для прокатки штаб на НСХП 1680 в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».....	7
1.2 Опис існуючого технологічного процесу та обладнання .....	11
1.3 Перспективи розвитку виробництва та пропозиції щодо його вдосконалення .....	27
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....	30
2.1 Розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів .....	30
2.2 Розрахунок собівартості 1 тони металу.....	49
2.3 Висновки до розділу.....	52
3 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ ХОЛОДНОКАТАНОЇ ШТАБИ .....	53
3.1 Розрахунок робочих і опорних валків .....	53
3.2 Розрахунок тихохідного натискного механізму .....	59
3.3 Висновки до розділу.....	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	66
4.1 Аналіз потенційних шкідливих та небезпечних чинників виробничого середовища прокатного цеху .....	66
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників прокатного виробництва .....	68
ВИСНОВКИ .....	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	79

## ВСТУП

Прокатне виробництво – це комплекс взаємозв'язаних технологічних переділів, що визначають якість прокатної продукції і техніко-економічні показники роботи прокатних цехів.

Розвиток сучасного прокатного виробництва базується на використанні нового сучаснішого нагрівального, прокатного і оброблювального устаткування, що характеризується процесами і операціями, вищими швидкостями та інтенсивними режимами роботи.

У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються по потоковому і безперервному принципах, що дозволяє широко застосовувати комплексну механізацію і автоматизацію. Тому механічне устаткування прокатних станів є вельми складним і різноманітним за призначенням і конструкцією.

Неперервний стан холодної прокатки 1680 меткомбінату «Запоріжсталь» відносять до станів перших поколінь. Швидкість прокатки на цьому стані не перевищує 12 м/с, а керування процесом прокатки відбувається вручну. На станах застосовують по рулонний спосіб прокатки при масі збільшеного рулону 10 – 30 т [1].

Одним з недоліків прокатування є наявність потовщених необтиснених кінців штаби довжиною 8 - 10 м через відсутність натягу на кінці штаби. Наявність потовщених кінців збільшує витрату металу на одну тонну готового прокату на 3 - 4 %.

Для усунення недоліку потовщених кінців на НСХП 1680 пропонується застосування методу подібного на процес нескінченної прокатки. Використовуючи його зменшиться поздовжня різнотовщинність та кількість металу у обрізі.

## 1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис існуючого технологічного процесу та обладнання для прокатки штаб на НСХП 1680 в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Цех холодної прокатки № 1 (ЦХП-1) призначений для виготовлення холоднокатаної продукції з вуглецевої, легованої і нержавіючої сталі розмірами:

- листи холоднокатані: 0,5 - 2,0×850 - 1500×1400 - 3800 мм;
- листи гарячекатані труєні: 1,0 - 3,0×1000 - 1500×1800 - 4200 мм;
- штаби холоднокатані в рулонах: 0,5 - 2,0×850 - 1550 мм.

Для холодної прокатки штаби в ЦХП-1 використовують неперервний чотирьохклітьовий стан 1680, два одноклітьові реверсивні стани 1680 і 1200, двадцятивалковий стан 1700 і два неперервних вузько штабових чотирьохклітьових стана 450 і 650 (рис. 1.1). Продукція ЦХП-1 включає холоднокатаний лист, штаби і стрічки з вуглецевої, низьколегованої, легованої і нержавіючої сталі.

Цех оснащений засобами для дресирування, поперечного і подовжнього різання, що забезпечують постачання холоднокатаного прокату товщиною від 0,2 до 2,0 мм, шириною від 10 до 1500 мм і довжиною листа до 4000 мм, а також рулонів масою до 14,0 тонн [2].

Цех складається з наступних відділень: травильне, прокатне, термічне, дресирувальне, відділення нержавіючих сталей і жерсті.

Гарячекатані рулони масою до 7,5 т зі ЦГПТЛ по підземному конвеєру надходять на склад рулонів і потім на неперервно-травильні агрегати (НТА) для видалення окалини з поверхні металу в розчині сірчаної або соляної кислоти. На НТА роблять укрупнення рулонів шляхом стикового зварювання

до маси 15 т, нанесення на поверхню захисного состава і згортання штаби в рулон.

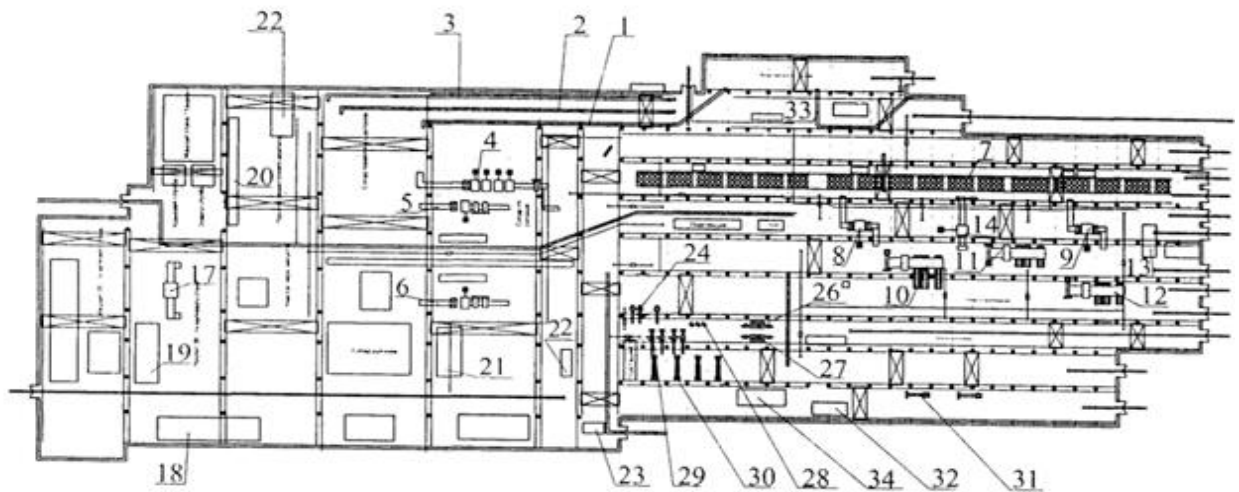


Рисунок 1.1 – Схема розміщення обладнання цеху холодної прокатки №1 з безперервним чотирьохкільтовим станом 1680: 1 - травильних лінія № 1; 2 - травильних лінія №2; 3 - травильних лінія № 3; 4 - безперервний чотирьохкільтовий стан 1680; 5 - реверсивний стан 1680; 6 - реверсивний стан 1200; 7 - ковпакові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

Швидкість травлення штаби на НТА-1 – 60 - 140 м/хв, а на НТА-2 – 60-120 м/хв., залежно від якості травлення. Внутрішній діаметр повинен бути наступний:



для неперервного стана 1680 – 710 - 750 мм;

для реверсивного стана 1200 – 720 - 740 мм;

для реверсивного стана 1680 – 720 - 740мм.

Рулони із труєною поверхнею прокатують на неперервному стані 1680, реверсивних станах 1680 і 1200 або ріжуть на обробному агрегаті №1.

Неперервний стан 1680 має чотири кліті з робочими валками діаметром 500 мм і опорними діаметром – 1300 мм. Робочі валки кожної кліті приводяться в обертання від індивідуальних двигунів з потужністю 3300 кВт. На стані прокатують штаби товщиною 0,5 - 2,0 мм із гарячекатаних штаб товщиною 2,0 - 3,5 мм і шириною 1000 - 1500 мм зі швидкістю в кліті 4 - 10 м/с [3].

Реверсивний стан 1680 – одноклітьовий чотирьохвалковий, з робочими валками діаметром 510/470 мм і опорними - 1420/1340 мм. Робочі валки приводяться в рух від електродвигуна з потужністю 1650 кВт. На стані прокатують штаби аналогічні розмірам неперервного стана 1680, зі швидкістю прокатки до 4,74 м/с.

Реверсивний стан 1200 – одноклітьовий чотирьохвалковий, з робочими валками діаметром 430/380 мм і опорними - 1300/1215 мм. Робочі валки приводяться в рух від електродвигуна з потужністю 3200 кВт. На стані прокатують штаби товщиною 0,5 - 0,8 мм із гарячекатаних штаб товщиною 2,0 - 2,5 мм і шириною 850 - 1050 мм зі швидкістю прокатки 7,0 - 10,0 м/с.

У результаті сумарної деформації штаби з обтиском 60 – 80% метал зміцнюється і практично втрачає свої пластичні властивості [4]. Тому рулони холоднокатаних штаб передають у термічне відділення, де проводять рекристалізаційний відпал у ковпакових печах. Відпал виконують у захисній атмосфері, що запобігає окислювання поверхні штаб. Тривалість і температурний режим відпалу обумовлені товщиною і хімічним складом матеріалу штаб. Після відпалу при температурах  $t = 670 - 710$  °С межа

тежучості сталі марок 08кп (08пс ) знизжується з  $\sigma_T = 700 - 750 \text{ Н/мм}^2$  до  $\sigma_T = 220 - 240 \text{ Н/мм}^2$ , а відносне подовження збільшується з  $\delta = 1,5\%$  до  $35 - 40\%$ .

Наступною операцією у виробництві холоднокатаних штаб є дресировання – процес прокатки з обтиском  $0,8 - 1,5\%$  [5]. Дресировання проводять на одноклітьових чотирьохвалкових станах 1700-1 і 1700-2 зі швидкістю до  $20 \text{ м/с}$ , з робочими валками, діаметром  $500/470$  і опорними з діаметром –  $1300/1220$ . Призначення дресировання металу – зміцнення поверхневого шару штаби і додання їй поверхні певної шорсткості або мікрорельєфу, що забезпечують гарну адгезію покриття (фарби) [6].

Готові рулони після дресировання передають на агрегати поперечного і поздовжнього різання (АПР). Різання штаб проводиться строго по плавочно і по партійно.

До складу АПР-1 входить наступне основне устаткування: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів (барабанного типу), 5-ти роликів правильна машина, листові ножиці з нижнім зрізом, 13-ти роликів правильна машина, ножиці барабанного типу, промаслювальна машина з форсунками, три укладача листа з консольними роликами. Робоча швидкість руху штаби -  $1 - 2,5 \text{ м/с}$ .

До складу АПР-2 входить наступне основне устаткування: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів, 5-ти роликів правильна машина, листові ножиці з нижнім зрізом, 13-ти роликів правильна машина, ножиці барабанного типу, ролики для промаслювання, три електромагнітних листоукладчика, ваги тензометричні. Робоча швидкість руху штаби –  $1 - 2,5 \text{ м/с}$ .

До складу АПР-3 входить наступне основне устаткування: завантажувальний пристрій, розмотувач рулонів, тягнучі ролики, 5-ти роликів правильна машина, листові ножиці з нижнім зрізом, ножиці дискові з роликами, що подають, кромкокрошувач, 13-ти роликів правильна машина і три листоукладчика. Робоча швидкість руху штаби –  $1 - 2,5 \text{ м/с}$  [7].

Потім іде сортування і упакування готової продукції. При сортуванні холоднокатаної сталі виявляють поверхневі дефекти: відбитки, надави, подряпини, тонкий або товстий лист, іржа, серповидність штаби, кольори мінливості, телескопічність.

Поверхня холоднокатаних штаб і листів є своєрідним відбиттям їхнього виробництва на всіх етапах технологічного процесу – від виплавки сталі до упакування готової продукції. Рівень досконалості будь-якої технологічної операції і застосовуваного для її виконання устаткування, ступінь і характер відхилення процесу від установленого інструкцією обов'язково вплине на якість поверхні і властивість тонколистової продукції.

## **1.2 Опис існуючого технологічного процесу та обладнання**

### ***Очистка поверхні гарячекатаних штаб від окалини***

Поверхня гарячекатаних штаб та листів, яка служать підкатом для станів холодної прокатки, покрита товстим (0,009 - 0,15 мм) шаром окалини та іншими забрудненнями, що робить їх непридатними в такому вигляді для холодної прокатки. Для забезпечення нормального ведення процесу холодної прокатки і одержання холоднокатаних штаб і листів з високоякісною поверхнею, підкат перед холодною прокаткою повинен бути ретельно очищений від окалини і забруднень.

Очищення штаб і листів від окалини проводиться трьома способами: механічним, хімічним і електрохімічним. Найбільше поширення одержали хімічний і електрохімічний способи видалення окалини, тому що вони дозволяють одержати листи і штаби із чистою поверхнею, придатною (після холодної прокатки) для нанесення захисних покриттів.

У цехах холодної прокатки, окалину попередньо руйнують механічним способом і остаточно видаляють хімічним шляхом. Хімічне видалення окалини проводиться в розчинах кислот (звичайно сірчаною або соляною).

Найбільш оптимальною концентрацією соляної кислоти вважається 18 – 25 %. Температура нагрівання розчину вище 60 – 70° С не бажана, тому що це викликає збільшення втрат металу і виділення шкідливих пар [8].

При хімічному способі травлення застосовують агрегати періодичної, напівбезперервної і безперервної дії.

Травлення в сучасних цехах холодної прокатки здійснюється у безперервних травильних агрегатах (БТА). Безперервно-травильні агрегати горизонтального типу (рис. 1.2) складаються із трьох частин: головної, середньої (технологічної) і хвостової.

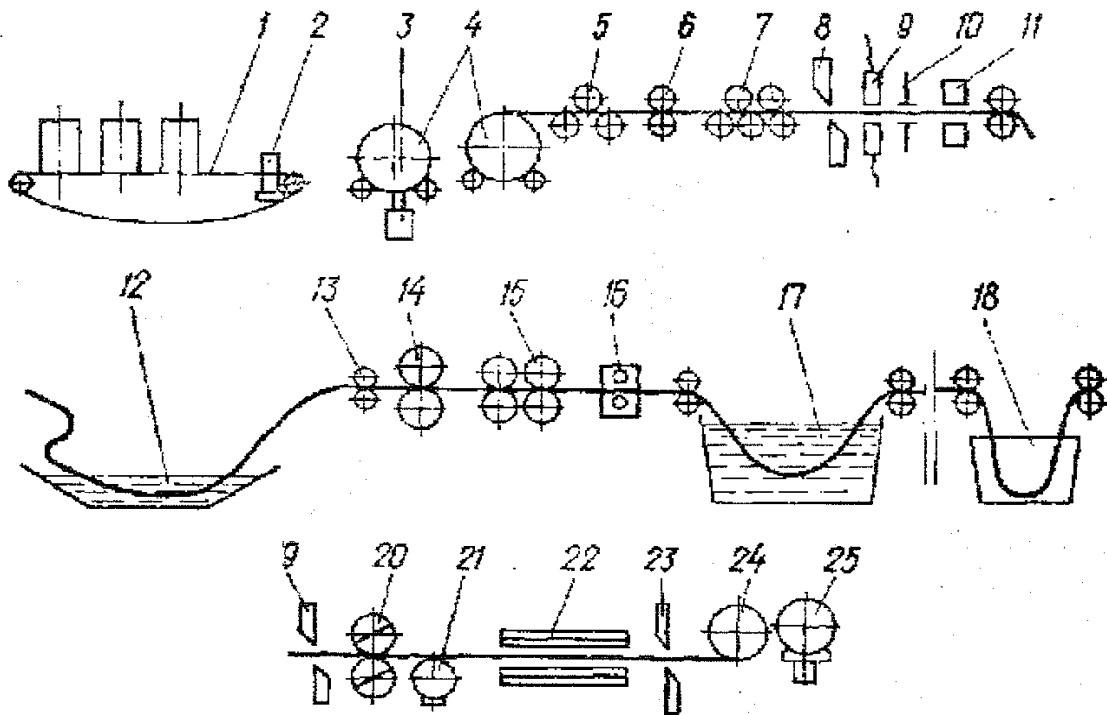


Рисунок 1.2 - Схема безперервного травильного агрегату: 1 – конвеєр, 2 – кантувач, 3 – під'ємний стіл, 4 – двопозиційний розмотувач, 5 – окалиноломач, 6 – тягучі ролики, 7 – правильна машина, 8 – гільйотинні ножиці, 9 – стикозварювальна машина, 10 – ґратознімач, 11 – зшивна машина, 12 – питльова яма, 13 – тягучі ролики, 14 – дресирувальна кліть, 15 – натяжний пристрій, 16 – індукційна установка, 17 – травильна ванна, 18 – промивна ванна

Безперервно-травильний агрегат горизонтального типу, працює на розчині сірчаної кислоти і призначений для очищення від окалини штаб з вуглецевих сталей і низьколеговані сталі.

Рулони гарячекатаної штаби зі складу травильного відділення транспортуються мостовим краном поштучно або по дві і встановлюються на прийомний транспортер 1 у вертикальному положенні, що подає їх до кантувача 2. Після кантування рулони подаються до розмотувача 3, встановленого на осі агрегату.

Після кінцець штаби відгинається за допомогою скребкового відгибача 4 і послідовно подається в окалиноламах 5, здвоєні тягнучі ролики 6, правильної машину 7 і здвоєні гільйотинні ножиці 8, потім кінці штаб зварюються в стикозварній машині 9 або зшиваються в машині 11. Грат, що утворився при зварюванні віддаляється гратознимачем 10. Після штаба скидається в петльову яму 12 з гарячою водою. Через пристрій 13, 14 штаба попадає в дресирувальну кліть 15, після в травильну ванну 16, потім у ванну холодного промивання 17 і у ванну гарячого промивання 18. Потім тягнучими роликами 20 направляється в петльову яму 21. Потім подається до гільйотинних ножиців 23 і дисковим ножицям 24, де обрізаються бічні крайки. Потім у пристрої 26 наноситься на штабу шар мастила. Промаслена штаба подається на барабан моталки 27, де змотується в рулон необхідною масою [1].

Швидкість безперервного руху штаби через травильні ванни 3...5 м/с, на вході БТА - до 12 м/с, на виході БТА - до 7 м/с. Травильні ванни обкладені усередині кислототривкою цеглою, будуються довжиною 25...30 м кожна. Загальна довжина агрегату досягає 300...350 м [9].

### ***Прокатка штаб на неперервному стані холодної прокатки 1680***

Неперервний стан холодної прокатки призначений для прокату холоднокатаного листа товщиною 0,5...2,0 мм, швидкість прокатки – до 10

м/с, довжина бочки валків 1680 мм, діаметр робочих і опорних валків 510 і 1212 мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3300 кВт через шестеренну кліть. Як підкат використовується гарячекатана штаба товщиною 2...3,8 мм із масою рулону до 15 т. Сумарне обтиснення на цих станах досягає 80%. Цей стан є основним постачальником холоднокатаної листової сталі.

Процес прокатки на НСХП здійснюється зі змінною швидкістю [10].

Після заправлення штаби в першу кліть прокатка ведеться на постійно заправній швидкості, поки передній кінець штаби пройде всі кліті і на моталці утворює 2...3 витка штаби. Потім швидкість підвищується до робочої, і рулон прокатується з постійною робочою швидкістю. Перед звареним швом швидкість прокатки вповільнюється. Потім відбувається розгін стана до робочої швидкості, і далі все повторюється. При підході заднього кінця відбувається зменшення швидкості прокатки з робочої до заправної, після чого задній кінець прокатується з постійною заправною швидкістю. Після паузи починається прокатка рулону (рис. 1.3).

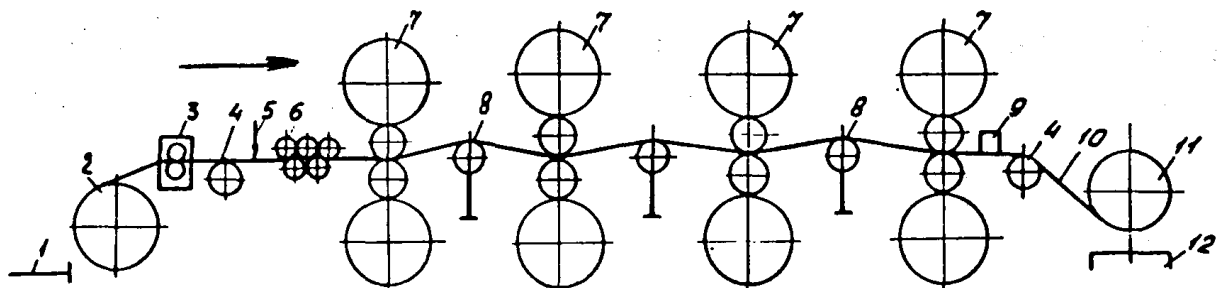


Рисунок 1.3 – Схема розташування устаткування неперервного чотирьохклітьового стану по рулонній холодній прокатки: 1 - приймальний транспортер; 2 - розмотувач; 3 - відгибач кінців рулонів; 4 - обвідний ролик; 5 - індикатор шва; 6 - натяжний роликівий пристрій; 7 - чотирьох валкові кліті; 8 - ролик тензOMETричного пристрою; 9 - товщиномір; 10 - готова штаба; 11 - моталка; 12 - збиральний транспортер [1]

Значна частина штаби прокатується зі змінною швидкістю, що впливає на параметри процесу прокатки: силу прокатки, натяг, товщину штаб, обтиснення, коефіцієнт тертя та ін.

Зварені шви прокатуються на вповільненій швидкості, через нестабільність механічних властивостей швів і зміни товщини. Якщо при проходженні зварених швів між валками швидкість прокатки не знижувати, то це веде до сильних ударів і може відбутися розрив штаби.

Для того щоб не знижувати швидкість прокатки при проходженні зварених швів, потрібно забезпечити однакові механічні властивості металу штаби і метала шва і мінімальну різнотовщинність підкату. Вирівнювання меж плинності матеріалу штаби і матеріалу шва може бути досягнуто зменшенням обтиснення по шві за рахунок зняття грата на мінус.

Для пришвидшення валків стана застосовують двигуни, що забезпечують швидкий розгін.

При багаторазовому обтисненні штаби відбувається її значний розігрів, тому виникає необхідність примусового охолодження валків і штаби. Для охолодження використовують технологічне змащення. Змащення при холодному прокатуванні знижує коефіцієнт тертя між валками і прокатує штаби, що, до 0,02...0,06, завдяки чому зменшуються сила прокатки і опір деформації [11, 12]. Прокатка зі змащенням забезпечує більше обтиснення. Змащення при холодному прокатуванні знижує витрати енергії, зменшують зношування валків, і підвищує якість листової сталі.

Змащення повинне добре прилипати до валків, забезпечуючи рівномірну плівку між валками і штабою що прокатується, і під час прокатки не повинна видавлюватися. Змащення утворить поділяючий ковзний шар між валками і штабою, що прокатується. Змащення також повинне легко віддалятися з поверхні листовий сталі після прокатки. Більш успішні вважаються емульсії на основі мінеральних мастил. Емульсія подається по обидва боки робочої кліті в місця контакту валків і штаби на метал, що

прокатується. Для готування емульсій і подачі її на валки робочої клітей є спеціальна установка. На стан емульсію подають за допомогою насосів. Для очищення емульсій використовують фільтри та магнітні сепаратори. Для охолодження емульсії використовують охолоджувачі. Ефективність змащень залежить не тільки від правильного вибору їх складу, але і від способу подачі на штабу і валки.

Холодна прокатка здійснюється зі значним натягом, що знижує силу прокатки, стабілізує процес прокатки й служить у якості регулюючого фактора товщини штаби [13].

Звичайно на штабу в першій кліті діє тільки передній натяг, а в останній та проміжній клітках діє передній і задній натяг. Між клітками натяг створюється за рахунок неузгодженості швидкостей, а передній натяг в останній кліті – моталкою.

Особливість холодної прокатки – це виникнення наклепу, в результаті цього різко зростають границя текучості, межа міцності і зменшується відносне подовження.

Холодна пластична деформація металу супроводжується значним виділенням тепла, тому температури штаби досягають 150...250° С.

Прокатка на НСХП характеризується високими швидкостями деформації, які впливають на границю текучості. Але цей вплив незначний і його звичайно не враховують.

Натяг штаби істотно впливає на товщину штаби: зі збільшенням натягу товщина штаби зменшується. При стійкому процесі прокатки для забезпечення високої точності розмірів штаби по довжині доцільно підтримувати натяг у межах  $G = (0,2...0...0,4)G_T$ .

Механічні властивості підкату по довжині штаби розподіляються нерівномірно. Через неоднорідність хімічного складу в слябах у гарячекатаних рулонах виникає додаткова неоднорідність через різні режими охолодження кінців і середини штаби. Кінці штаби остигають швидше, у



результаті межа міцності металу на початку і наприкінці рулону вище, ніж у середині, на 10...18 %.

Зміна товщини і натяг штаби по фазі збігаються зі зміною зазору між валками через биття валків.

Швидкість прокатки впливає на поздовжню різнотовщинність через коефіцієнт тертя, границя текучості матеріалу, що прокатується, і внаслідок зміни товщини масляної плівки ПЖТ.

Зі збільшенням швидкості прокатки підвищується температура металу внаслідок теплового ефекту пластичної деформації. Збільшення температури металу приводить до зниження границі текучості і до зменшення сили прокатки і товщини штаби.

Важливим завданням прокатки є одержання необхідних механічних властивостей, тому що структура і штампуємість листової сталі, визначаються режимом холодної прокатки. При критичному ступені деформації (наприклад, 7...10% для сталі 08кп) при рекристалізації утворюються дуже крупні зерна. При малій ступені деформації, зерна гарячекатаного металу майже не дробляться, і далі зростання зерна не спостерігається, тому що відсутня рекристалізація. При збільшенні ступеня деформації зерна фериту дробляться і витягаються в напрямку прокатки, відбувається розрив міжзеренної речовини, границі зерен майже зникають, цементит також витягається уздовж прокатки.

Межа міцності і границя текучості холоднокатаної відпаленої сталі зростає зі збільшенням ступеня деформації. При холодному прокатуванні на практиці сумарне обтиснення становить 50...80 %, а одержання необхідних механічних властивостей забезпечують підбором оптимального хімічного складу сталі і режиму відпалу.

### *Термічна обробка холоднокатаної сталі*

Основна операція термічної обробки холоднокатаної сталі – відпал. Мета його – зниження твердості, поліпшення оброблюваності різанням і отримання мікроструктури, найбільш сприятливої для подальшої термічної обробки. Поряд із цим відпал усуває внутрішні напруги, що виникають у металі після прокатки [14].

З метою найбільш ефективного проведення операції відпалу сортовий прокат у термічних цехах металургійних заводів залежно від марки сталі і призначення поділяють на групи. Об'єднання в групи дозволяє робити відпал, не очікуючи надходження сталі однієї марки в кількості, необхідній для повного завантаження печі. Завдяки цьому вдається уникнути простоїв устаткування. Групують наступні сталі:

- вуглецеві інструментальні У7 – У9;
- шарикопідшипникові;
- вуглецеві конструкційні;
- леговані конструкційні, що поставляють після відпуску;
- леговані, конструкційні, що поставляють після відпалу.

### *Дресировання холоднокатаної сталі*

Дресировання – це операція технологічного процесу, що впливає на якість поверхні, механічні властивості, профіль листа і штампуємість.

Дресированням називається холодна прокатка (без змащення і зі змащенням) з невеликим обтисненням (0,5...0,3 %). Метою дресировання є: поверхнєве зміцнення відпаленого металу з метою поліпшення його штампуємість; виправлення металу і одержання гладкої блискучої поверхні (необхідної, наприклад для лудіння) [15].

Для дресировання рулонної штаби застосовують чотиривалкові стани:

- одно клітьові нереверсивні для дресировання в один прохід штаб товщиною 0,5...1,5 мм із вуглецевої сталі;

- одно клітьові реверсивні для дресування штаби з легованої сталі в кілька проходів;
- двох клітьові безперервні для дресування тонкої штаби і жерсті (0,15...0,5 мм) у два проходи.

Слід зазначити, що дресування штаб здійснюється без змащення і без охолодження валків, то температурний режим валків коливається в широкому діапазоні, при цьому температурний перепад по довжині бочки валків змінюється від позитивного значення до негативного.

Для одержання необхідної поверхні штаб (дзеркальної або матової) використовують шліфовані та насічені валки. Насічені робочі валки одержують після шліфування дробеструйною обробкою. Шліфовані робочі валки виготовляють із чистотою поверхні бочки 10...11 класу. Насічені валки мають висоту нерівностей поверхні бочки 3...4 мкм.

### ***Обробка холоднокатаної сталі***

Після дресування штаби ріжуть, сортують, упаковують або в рулонах відвантажують споживачеві.

У сучасних цехах холодної прокатки для різання листів на штаби установлюють два - три агрегати поперечного різання, а для різання штаб на стрічки один - два агрегати поздовжні різання [16].

Упакування пакетів є трудомісткою операцією і здійснюються спеціальними машинами або вручну. Штаби з вуглецевої сталі, упаковуються в металічну або паперову тару, а з конструкційних сталей - у водонепроникний армований папір, обв'язуються пакувальною стрічкою і відвантажуються споживачеві.

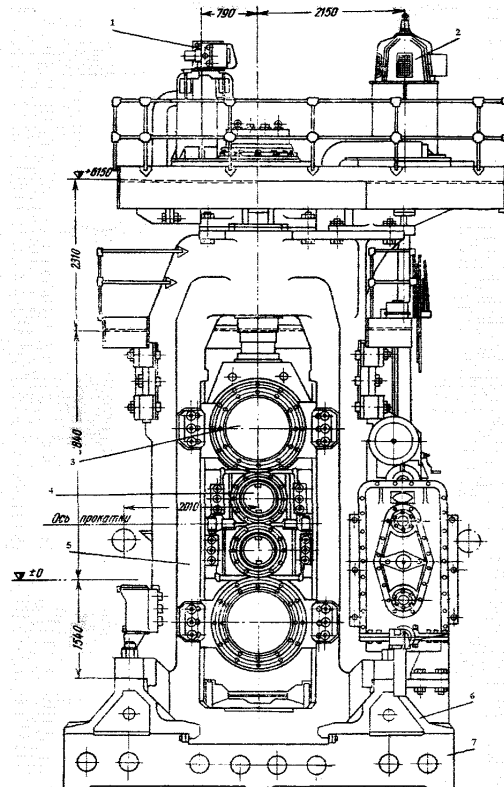
Поверхня холоднокатаних штаб і листів є своєрідним відбиттям їхнього виробництва на всіх етапах технологічного процесу – від виплавки сталі до впакування готової продукції. Рівень досконалості будь-якої технологічної операції і застосовуваного для її виконання устаткування, ступінь і характер

відхилення процесу від установленого інструкцією обов'язково вплине на якість поверхні і властивості тонколистової продукції.

При сортуванні холоднокатаної сталі, виявляють поверхневі дефекти: відбитки, подряпини, іржу, серповидність штаби, кольори мінливості, тонкий або товстий лист, телескопічність [17, 18].

### *Опис конструкції і роботи основного устаткування*

У прокатному відділенні проводиться прокатка в клітках закритого типу, з робочими валками діаметром 465 - 510 мм, і опорними 1190 - 1210 мм. На рис. 1.4 зображена кліть закритого типу.



- 1 – датчик, 2 – натискний пристрій, 3 – опорний валок,  
 4 – робочий валок, 5 – станина, 6 – кріпильні лабети, 7 – плитовина
- Рисунок 1.4 - Прокатна чотирьохвалкова кліть закритого типу

При зміні повного комплекту робочих і опорних валків застосовують гідравлічний пристрій, що врівноважує.

На рис 1.5 показаний загальний вид пристрою для гідравлічного зрівноважування верхніх робочого і опорного валків стана 1680. Зрівноважування робочих і опорних валків здійснюється за допомогою гідравлічних плунжерів 5, 4, які розташовані між подушками опорних 1 і робочих 2 валків.

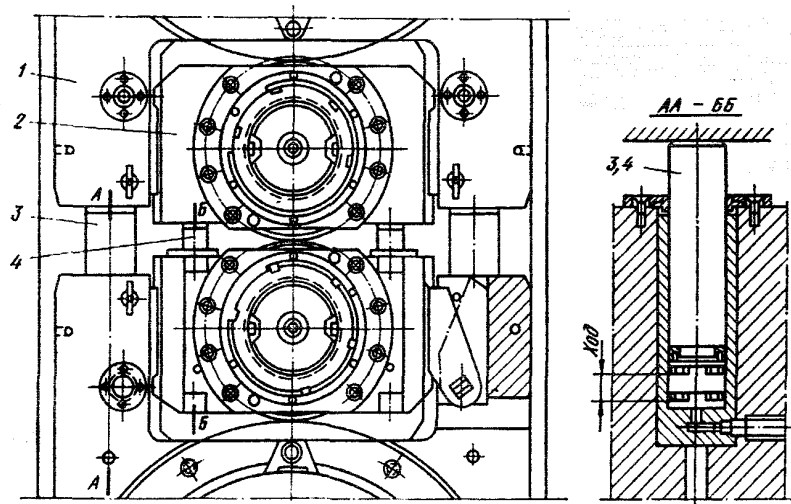


Рисунок 1.5 - Гідравлічне урівноважування верхнього робочого і опорного валків чотирьох валкового стана 1680

Шестеренні кліті, представлена на рис 1.6 призначені для поділу крутного моменту. Шестеренні кліті виконують відкритими (зі знімною кришкою). Вони складаються з основних елементів:

- станина;
- кришка;
- шестірня;
- подушка з підшипниками.

Станини і кришки відливають із модифікованого або високоміцного чавуну (марок ВЧ45-5, СЧ32-52); підшипники – бабітові роликові конічні; шестірні виготовляють із кованої легованої сталі марок 40ХН, піддають поверхневому гартуванню.

Підшипники і шестерні змазуються рідким маслом П-28. Рідке масло подається в зубчасте зачеплення безупинно від центральної циркуляційної мастильної станції, що розташовується в масло підвалі цеху.

Шестірні з легованої сталі марки 60X2МФ. Для запобігання витoku масла з підшипників на кінцях шийок зроблені кільця, для скидання масла [19]. Для подачі масла на верхню шестірню в кришці передбачені отвори для труб. Масло самопливом видаляється через отвір унизу корпуса кліти.

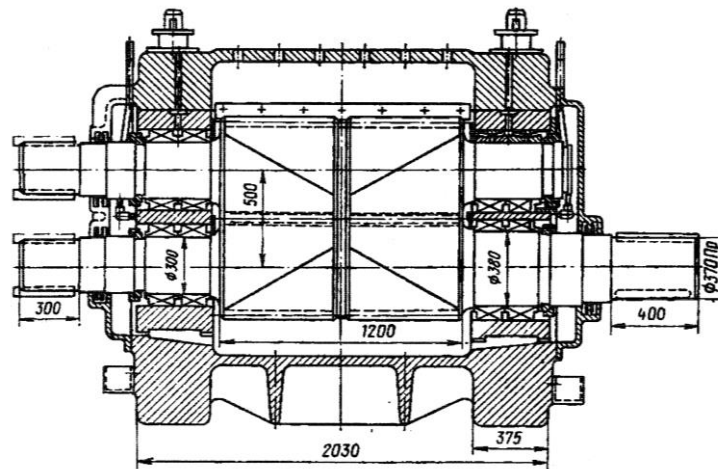
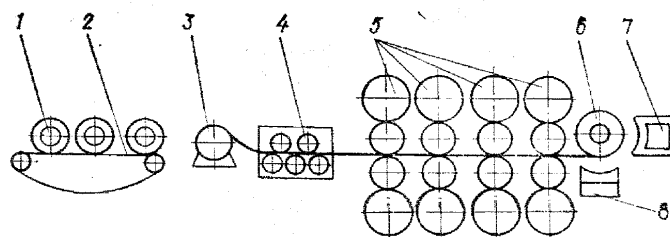


Рисунок 1.6 - Шестеренна кліть для приводу валків чотири валкової кліти стана 1680 конструкції НКМЗ

На рис. 1.7 зображена схема чотирьох клітьового безперервного стана холодної прокатки - 1680.



1 – кран, 2 – транспортер, 3 – розмотувач, 4 – правильно-натяжна машина,  
5 – валки робочих клітей, 6 – моталка, 7, 8 – колиска знімач

Рисунок 1.7 - Схема чотирьохклітьового безперервного стана холодної прокатки 1680

Протравлені рулони 1 краном встановлюються на ланцюговий транспортер 2, і передаються на розмотувач 3. Кінець штаби відгинається і задається в тягнучі ролики правильно-натяжної машини 4. Потім тягнучими роликами штаба задається у робочі валки клітей 5 (із заправною швидкістю).

Штаба, пройшовши робочі валки 4-й кліті, задається в барабан моталки 6. Після намотування 3...4 створюється натяг між 4 кліттю й моталкою, стан розганяється до робочої швидкості.

Після прокатки рулону, коли на головках розмотувача залишається два-три витки штаби, швидкість стана вповільнюється до заправної, після чого кінець штаби пропускають через робочі кліті.

На барабані моталки кінець штаби фіксується коліскою знімача 8, потім по ланцюговому конвеєрі рулони транспортуються в термічне відділення.

На рис. 1.8 представлена схема агрегату поперечного різання, призначеного для нарізання штаб з вуглецевих сталей товщиною 0,6...2,0 мм, шириною 700...1500 мм на штаби довжиною 1...6 м зі швидкістю 1,5...6 м/с.

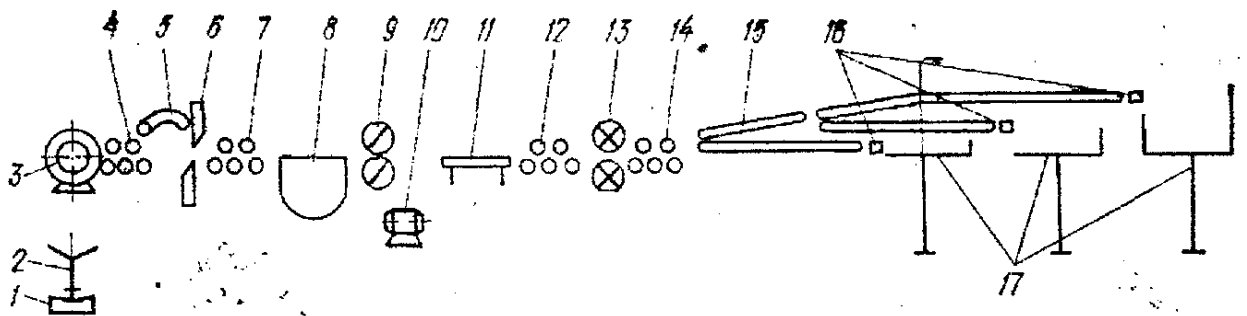


Рисунок 1.8 - Схема агрегату поперечного різання холоднокатаних штаб

За допомогою крана рулони встановлюються на конвеєр 1. Черговий рулон за допомогою пересувного гідравлічного столу 2 насувається на консольний барабан розмотувача 3; останній автоматично розклинюється

(збільшується його діаметр) і повертається в положення, необхідне для відгинання переднього кінця штаби магнітним вігибачем 6, при цьому ролик 4 опускається. Передній нерівний кінець штаби (довжиною 1 - 2 м) відрізається гідравлічними гільйотинними ножицями 6, подається роликами 7 на похилий стіл 8 і скидається в бічний короб для обрізання.

Бічні крайки штаби відрізаються дисковими ножицями 9 і змотуються в тугі мотки кромкомоталкою 10. Остаточне виправлення штаби здійснюється другою правильною машиною 12, після чого штаба розрізається на штаби мірної довжини летучими барабанними ножицями 13. Петльові столи 8 і 11 призначені для забезпечення можливості вирівнювання швидкості дискових ножиців зі швидкістю обох правильних машин.

Пристрій пакування 17 складається із трьох секцій: перша – для бракованих листів, а інші дві для придатних. Штаби направляються на пакуєючі столи розподільним стрічковим транспортером 15. Над нижньої частині цього транспортера встановлені перемикаючі електромагніти. Перемикання цих магнітів здійснюється від імпульсу приладів 11 контролю якості поверхні штаби, розташованих перед другою правильною машиною. Перед надходженням на пакуєючі столи придатні штаби промаслюються в пристроях 16.

На рис. 1.9 представлена схема агрегату поздовжнього різання холоднокатаних штаб. Цей агрегат призначений для обрізання бічних крайок рулонної штаби і різання її на вузькі стрічки. Параметри вихідних рулонів: маса до 30 т, товщина штаби 0,4 - 2,0 мм, ширина 750 - 1550 мм. Готові вузькі рулони: маса до 10 т, зовнішній діаметр до 1600 мм, внутрішній діаметр 600 мм, ширина 80 мм і більше [20].

Вихідний рулон зі стелажу 1 встановлюється на барабан розмотувач 2, кінець штаби відгинається магнітним вігибачем 3 і обрізають ножицями 4 подається в пристрій, що промаслює, 5. Розмотувач працює в генераторному



режимі. Штаба проходить через контрольно-маркуючий стіл 6, що промаслює пристрій 5 і дисковими багатопарними ножицями 7 розрізається

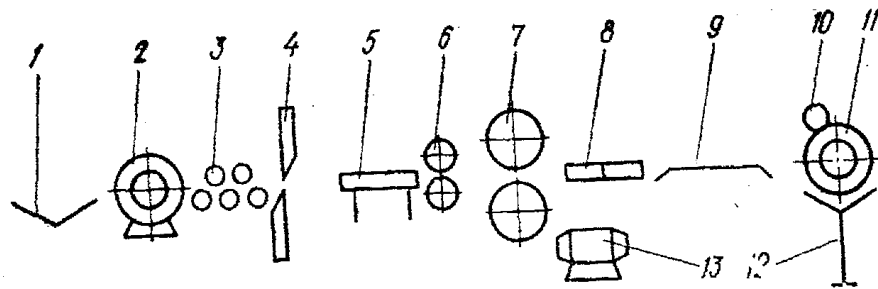


Рисунок 1.9 - Схема агрегату поздовжнього різання холоднокатаних штабів

на вузькі стрічки; при заправленні агрегату візок машини 8 підїжджає до дискових ножиць і захоплює кінець стрічок, затискаючи їх між своїми роликами, безпосередньо при виході стрічок з ножів ножиців. Потім при одночасному обертанні ножів ножиць візок по напрямних переміщається до моталки 11, перед яким спеціальним пристроєм стрічки розводяться друг від друга й задаються в щілину барабана. Формування рулону стрічки здійснюється на моталці за допомогою притискного ролика, що качає, 10. Рулони стрічок за допомогою пересувного піднімального столу 12 передаються на поворотний стіл і далі краном - на упаковку. При різанні стрічок на ножицях одночасно проводиться обрізання бічних крайок, які змотуються на кромкомоталці 18.

Барабанні ножиці (рис 1.10) є однією з основних машин для різання металу. Вони набули широкого застосування для холодного різання сталевих штабів товщиною до 3 мм. Пристрій і принцип роботи полягають у наступному. На двох барабанах по їх утворюючим радіально закріплені ножі (по одному або по три на кожному барабані). Штаба рухається безупинно і подається до ножиць що подають роликами (або валками останньої кліти безперервного стану) з постійною швидкістю. При зустрічі верхнього і нижнього ножів відбувається різання штаби. Для створення розриву між

відрізаними шматками штаби швидкість вихідного рольганга повинна бути більше швидкості штаби перед ножицями.

Штаба рухається безупинно і подається до ножиць, що подають роликами (або валками останньої кліті безперервного стану) з постійною швидкістю [21].

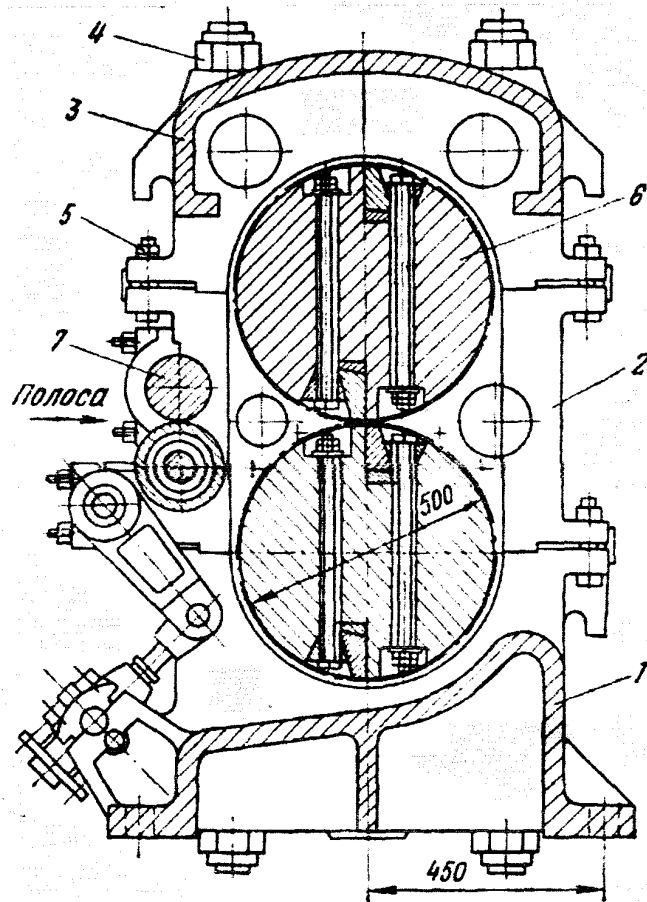


Рисунок 1.10 - Летучі барабанні ножиці для поперечного різання тонкої штаби

При зустрічі верхнього і нижнього ножів відбувається різання штаби. Для створення розриву між відрізаними шматками штаби швидкість вихідного рольганга повинна бути більше швидкості штаби перед ножицями.

### **1.3 Перспективи розвитку виробництва та пропозиції щодо його вдосконалення**

Сьогодні близько 40...45 % обсягу виробництва тонколистової сталі випускається у вигляді холоднокатаних листів. Основна кількість цієї сталі випускається для автомобільної й машинобудівної промисловості.

Холодною прокаткою виготовляють штаби товщиною 0,35...2 мм, шириною 700...2300 мм і масою до 45 т. У якості заготовки застосовується тонколистова гарячекатана сталь товщиною 1,8...6 мм, шириною 700...2300 мм, масою рулону до 45 т.

Технологічний процес виробництва ХЛС дуже складний, тому що включає велику кількість переділів, вимагає застосування різноманітного й складного устаткування й пов'язаний з великими енерговитратами. У зв'язку із цим капіталовкладення при виробництві ХЛС на 20 – 25 %, а експлуатаційні витрати на 10 % вище, ніж при виробництві ТЛГС.

Основна кількість ХЛС (80...85 %) виготовляється з низьковуглецевої сталі, 10 – 15 % – із середньо- і високовуглецевої сталі, близько 5 – 7 % – з низько- і середньолегованої і 1 – 1,5 % - з високолегованих сталей (головним чином – нержавіючих).

Залежно від призначення ХЛС виготовляють із вуглецевої сталі звичайної якості, якісної конструкційної й інструментальної.

Вуглецева сталь звичайної якості (сталь 0, сталь 2, декапирована, оцинкована) поставляється без особливих вимог, тому що при подальшій обробці ця сталь не зазнає глибокої витяжки. ХЛС із цієї сталі застосовується в машинобудуванні, для виготовлення покриття, посуду, арматури й ін.

З якісної вуглецевої сталі прокатуються штаби, призначені для виготовлення виробів листовим штампуванням. Особливе місце займають сталі 08кп, 08Ю, які призначені для виготовлення деталей автомобілів. По здатності до витяжки ХЛС, відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 9045-80,

поділяють на три групи: досить глибоку (ДГВ), глибоку (ГВ) і нормальну (НВ). Відповідно до зазначених групам витяжки встановлені норми механічних властивостей. Сталь марок 08Ю та 08кп, застосовуваних для штампування складних деталей, поділяють на дві групи: ОСВ — особливо складну витяжку й СВ — складну витяжку. Основним показником штампуємості є співвідношення межі текучості до межі міцності  $\sigma_T/\sigma_B$ , яке повинне бути не більше 0,65.

Особливо високі вимоги пред'являються до якості поверхні ХЛС. Поверхня готових листів повинна бути матовою або глянсовою. На поверхні листів не допускаються плівки, окалина, подряпини, раковини, міхури, розшарування, іржа, кольори мінливості й ін. Велике значення для витяжки під штампом має рельєф поверхні листа. Для автомобільних деталей виготовляють штаби з матовою поверхнею, яку одержують на насічених валках дресирувальних станів. Така поверхня добре сприймає фарбування й сприяє кращій штампуємості листа [20].

Штаби для глибокої витяжки повинні мати високу точність розмірів і форми, а якщо ні, то їх бракують при штампуванні виробів.

Сумарне обтиснення при холодному прокатуванні визначають з урахуванням вимог, які пропонуються до якості готової продукції. Але при всіх умовах величина сумарного обтиснення залежить від кінцевої товщини, ширини й матеріалу штаби, можливостей прокатного стану. Зростання сили прокатки пропорціональне зростанню ширини штаби. При прокатуванні штаб завширшки  $B = 1250 - 1500$  мм ( $B/l$  0,61 - 0,79) для запобігання перевантаження двигунів використовують зменшення швидкості прокатки [22].

Особливістю режимів деформації на ШСХП є групування прокату штаб за марками сталей, з близькими величинами вихідної межі плинності, до товщини гарячекатаного прокату.

Безперервний чотирьохкільтовий стан є високо механізованим станом з високим ступенем автоматизації. Стан має ряд недоліків, які заважають підвищувати обсяг прокату і якість прокату.

Одним з недоліків по рулонній прокатці є наявність потовщених необтиснених кінців штаби довжиною 8 - 10 м. Але виникають труднощі з їх прокаткою на тонкі штаби через відсутність натягу. Наявність потовщених кінців збільшує витрату металу на одну тону готового прокату на 3 - 4 %.

Для підвищення якості холоднокатаної штаби і усунення вищезазначених дефектів розроблені наступні заходи:

1) попередній обтиск стовщених кінців гарячекатаної штаби в спеціальній клітці, установленій в травильній лінії;

2) заміна розмотувача стану на розмотувач плаваючого типу з консольним барабаном для приймання рулону із завантажувального візка і установки його по осі стану і автоматичного центрування штаби при прокатуванні, створення стабільного натягу при розмотуванні;

3) прискорення роботи валків стану на 0,02 - 0,1 м/с<sup>2</sup>. Це забезпечує збільшення температури до кінця довжини штаби за рахунок підвищення роботи деформації та разом з цим зниження різнотовщинності.

При прискоренні валків при прокатуванні заднього кінця штаба нагрівається на 7 – 10 °С, зменшуються напруга плин металу і коефіцієнт тертя, що і викликає зниження середньої нормальної контактної напруги та сили прокатки. Так, по даним [7], при прокатуванні штаб 1,5x1050 мм із прискоренням 0,05 м/с<sup>2</sup> на довжині 550 м товщина штаби зменшується на 0,15 мм. Довжина стовщеної кінцевої ділянки штаб значно менше і становить усього 30...40 м.

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів

Розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів штаби розмірами  $0,8 \times 1000$  зі сталі 08пс на безперервному стані холодної прокатки 1680 виконуємо за методикою В.О. Ніколаєва [21].

Визначаємо сумарне обтиснення по формулі:

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

Вихідна товщина штаби визначається по формулі:

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

де  $H, h$  - товщина штаби до і після прокатки, мм.

Сумарне обтиснення визначаємо по формулі:

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

Коефіцієнт тертя визначаємо по формулі:

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

де  $f_o$  - базова границя текучості;  $k_d, k_n$  - поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно відносне обтиснення штаби і шорсткість поверхні

штаби;  $k_{cm}$  - поправочний коефіцієнт, що враховує тип технологічної змащення;  $k_t$  - коефіцієнт, що враховує температуру металу.

Визначаємо базова границя текучості при  $v < 7,5$  м/с із формули:

$$f_0 = 0,076 - 0,0019v + 0,031 \cdot (R_a - 0,6) \cdot [(1,07 - 0,14v)^3 + 0,054v - 0,26] \quad (2.5)$$

Коефіцієнт  $k_n$  дорівнює:

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

Коефіцієнт  $k_d$  дорівнює:

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

Розрахунок коефіцієнта тертя з урахуванням температури штаби визначається по формулах:

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

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

Показник тертя розраховуємо по формулі:

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

Виконаємо розрахунок сумарного обтиснення, розрахуємо товщину штаби по формулах 2.1 - 2.3:

$$\varepsilon_{\Sigma} = 0,51 + 0,148(2 - 0,7)^{1,3} = 0,67;$$

$$H = 0,7 / (1 - 0,7) = 2,33 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma} = 2,33 - 0,7 = 1,63 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 1} = 0,5 \cdot 1,63 = 0,815 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 2} = 0,24 \cdot 1,63 = 0,39 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 3} = 0,18 \cdot 1,63 = 0,29 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 0,08 \cdot 1,63 = 0,13 \text{ мм}.$$

Перевірка:

$$\Delta h_{\Sigma} = 0,815 + 0,39 + 0,29 + 0,13 = 1,63 \text{ мм}.$$

Кліть 1

$$H_o = 2,33 \text{ мм}; \Delta h = 0,815 \text{ мм}; h_1 = 1,735 \text{ мм}; \varepsilon = 35\%; R_a = 5 \text{ мкм}; D_p = 550 \text{ мм};$$

$$t_H = 25^{\circ} \text{ C}; v = 3,7 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт тертя і показник тертя визначаємо по формулах 2.4 – 2.10:

$$f_o = 0,076 - 0,00019 \cdot 3,7 + 0,031 \cdot (5 - 0,6) [(1,07 - 0,14 \cdot 3,7)^3 + 0,054 \cdot 3,7 - 0,26] = 0,113;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,35 + 0,165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,35) = 0,98;$$

$$k_n = 1,04;$$

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

$$k_t = 0,905 + 0,22(1,11 - 0,0044 \cdot 25)^{1,845} = 1,125;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,35 = 0,905; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,35 = 0,22; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,35 = 1,845. \end{aligned} \right\}$$

$$f = 0,113 \cdot 0,98 \cdot 1,04 \cdot 1,125 = 0,130;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,13 - 0,018 = 0,19.$$

Розрахуємо границю текучості  $\sigma_{T1}$  по формулах:

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



де  $\sigma_{\sigma 0}$  - вихідний (після відпалу) до деформації границя текучості;

$\Delta\sigma_T$  - ступінь зміцнення металу при деформації з  $\varepsilon = 40\%$ ;

$k_\varepsilon$  - коефіцієнт, що враховує ступінь деформації.

Величини  $\sigma_{\sigma 0}$  і  $\sigma_T$  залежать від хімічного еквівалента даної марки сталі [10]. Для вуглецевих, конструкційних, низьколегованих марок сталей хімічний еквівалент, величини  $\sigma_{\sigma 0}$  і  $\sigma_T$  дорівнює:

$$\left. \begin{aligned} C_s &= C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4}; \\ \sigma_{\sigma 0} &= 210 + 263 \cdot C_s; \\ \Delta\sigma_T &= 209 + 460 \cdot C_s. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Коефіцієнт  $k_\varepsilon$  визначають у такий спосіб:

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

де  $C$  - вміст вуглецю в сталі.

Границя текучості металу після деформації з урахуванням впливу температури і швидкості деформації [10] дорівнює:

$$\sigma_{T1} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{\sigma 0} + \Delta\sigma \cdot k, \quad (2.14)$$

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

Коефіцієнти  $n_u, n_t$  визначаються з виражень [10]:

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

Середній опір металу деформації дорівнює:

$$\sigma_{\phi} = 1,15 \cdot \left[ n_t \cdot \sigma_{T(i-1)} + 0,67(\sigma_{T1} - n_t \cdot \sigma_{T(i-1)}) \right] \quad (1.16)$$

де  $\sigma_{T1}$  – границя текучості після проходу;  $\sigma_{T(i-1)}$  – границя текучості до проходу.

Швидкість деформації визначимо по формулі:

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

У першому наближенні приймаємо для кліті 1 -  $l_c \approx (1,3 \dots 1 \dots 1,5) \cdot l_d$ ,  
 $(l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h})$

Обчислюємо швидкість деформації, середній опір металу, границя текучості металу після деформації, а також границя текучості сталі 08кп по формулах (2.11 - 2.17):

$$C_s = 0,171;$$

$$\sigma_{T0} = 210 + 263 \cdot 0,171 = 255 \text{ H / мм}^2;$$

$$\Delta \sigma_T = 209 + 460 \cdot 0,171 = 287 \text{ H / мм}^2;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 - \left( 1 - \frac{0,35}{0,4} \right)^{1,58} = 0,96;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 0,96 = 531 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left( 0,5 + \frac{\ln 154}{13,8} \right)^2 = 1,28;$$

$$n_t = 0,7 + 0,23 \left( 1 - \frac{t_i}{300} \right)^2 = 0,99;$$

$$u = \frac{10200 \cdot 0,35}{23,2} = 154 \text{ с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{0,935 \cdot 275} = 15,9 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 15,9 = 22,26 \text{ мм}.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15[255 + 0,67(605 - 255)] = 562H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 605 = 695H / \text{мм}^2.$$

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

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

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

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

де  $R$  - радіус твердого валка;  $n_{cp}, n_1$  - коефіцієнти, що враховують вплив середніх напруг натягу і напруг натягу переднього кінця штаби:

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

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

де  $\sigma_n, \sigma_s$  - напруга відповідно переднього і заднього натягів.

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

$$C = 0,9 \cdot 562 \cdot \frac{275}{47500} = 2,9 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 695 \cdot \frac{275}{95000} = 1,7 \text{ мм};$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{120}{2 \cdot 562} = 0,9;$$

$$n_1 = 1 - \frac{90}{695} = 0,87;$$

$$l'_c = \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 + 4 \cdot 275 \cdot 0,935 \left(1 - 2,9 \cdot \frac{0,13}{2 \cdot 2,1}\right)}}{2 \left(1 - 2,9 \cdot \frac{0,13}{4,2}\right)} = 18,5 \text{ мм};$$

$$l_c = 18,5 + 1,7 = 20,2 \text{ мм}.$$

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

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

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

де  $P'_{cp}$  – середній тиск із формули (2.23).

Визначаємо силу прокатки з формули:

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

Визначаємо момент прокатки:

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

де  $\psi$  – коефіцієнт положення рівнодіючих сил:

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

Потужність властиво прокатки металу (на двох валках):

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

Виконуємо розрахунок середнього нормального тиску і сили прокатки по формулах (2.23 - 2.25):

$$P'_{cp} = 562 \left( 1 + 0,48 \cdot 0,19 \cdot \frac{22,26}{2,1} \right) = 1055 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 30 \text{ H / мм}^2, \sigma_s = 90 \text{ H / мм}^2;$$

$$P_{cp} = 1055 \left( 1 - \frac{120}{2 \cdot 1055} \right) = 995 \text{ H / мм}^2;$$

$$P = 995 \cdot 1000 \cdot 22,26 \cdot 10^{-6} = 20,1 \text{ МН}.$$

Визначаємо момент прокатки і потужність прокатки по формулах (2.26 - 2.28):

$$\psi = 0,48 \left( \frac{15,9}{22,26} \right)^2 = 0,24;$$

$$M = 2 \cdot 0,24 \cdot 20,1 \cdot 0,0223 + 2,33 \cdot 1000 \cdot 0,275 \cdot 30 \cdot 10^{-6} \cdot \left( 1 - \frac{1,735 \cdot 90}{2,67 \cdot 30} \right) = 0,2 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,2 \cdot \frac{3,7}{0,275} = 2583 \text{ кВт} < 4800.$$

Визначимо температуру  $t_k$  штаби на виході із кліті по формулі:

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

де  $\Delta t$  – збільшення температури у осередку деформації.

Збільшення температури штаби в даній кліті дорівнює:

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

де  $m$  – коефіцієнт, що приблизно визначається виразом:

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

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

$$\Delta t = 2,19 \cdot 0,05(995 + 562) \ln \frac{2,67}{1,735} = 73,5^\circ \text{C};$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left( \frac{25}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,19;$$

$$t_k = 25 + 74 = 99^\circ \text{C}.$$

#### Кліть 2

$$H_o = 2,33 \text{ мм}; h_1 = 1,735 \text{ мм}; h_2 = 1,285 \text{ мм}; \Delta h = 0,39 \text{ мм}; \varepsilon = 26\%; t_H = 99^\circ \text{C}; \nu = 5,5 \text{ м/с}.$$

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

Визначаємо коефіцієнт тертя по формулі 2.4 - 2.10:

$$f_o 0,076 - 0,0019 \cdot 5,5 + 0,031(5 - 0,6) \left[ (1,07 - 0,14 \cdot 5,5)^3 + 0,054 \cdot 5,5 - 0,26 \right] = 0,074;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,26 + 0,165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,26) = 1,07;$$

$$k_t = 0,752 + 0,472(1,11 - 0,0044 \cdot 99)^{2,358} = 0,94;$$

$$k_n = 1,04;$$

$$k_{cm} = 1;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,26 = 0,752; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,26 = 0,472; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,26 = 2,358 \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,074 \cdot 1,07 \cdot 1,04 \cdot 0,94 = 0,077;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,077 - 0,018 = 0,105.$$

Визначаємо границя текучості, сумарне обтиснення з формул 2.11 - 2.15:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2,33 - 1,285}{2,33} = 0,45;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,45 - 0,4)^{0,5} = 1,04;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,04 = 554,1 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left( 0,5 + \frac{\ln 89,4}{13,8} \right)^2 = 1,26;$$

$$n_t = 0,7 + 0,23 \left( 1 - \frac{99}{300} \right)^2 = 0,9;$$

$$u = 5500 \cdot \frac{0,26}{16} = 89,4 \text{ с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,45} = 11,1 \text{ мм};$$

$$\sigma'_{T'} = 1,26 \cdot 0,9 \cdot 255 + 287 \cdot 1,04 = 587,7 \text{ H / мм}^2.$$

Визначаємо опір металу деформації по формулах 2.16 - 2.17:

$$\sigma_{\phi} = 1,15 [628 + 0,67(587,7 - 628)] = 691,1 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 587,7 = 675,8 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\varepsilon} = 0,15 \cdot 554,1 = 83 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 587,7 = 88 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{83 + 88}{2 \cdot 691,1} = 0,77;$$

$$n_1 = 1 - \frac{88}{675,8} = 0,77.$$

Визначимо довжину дуги контакту по формулах 2.18 - 2.22:

$$C = 0,77 \cdot 691,1 \frac{275}{47500} = 3,6 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,77 \cdot 675,8 \frac{275}{95000} = 1,7 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{1,735 \cdot 1,285} = 1,5 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,6 + \sqrt{14,44 + 4 \cdot 275 \cdot 0,45 \left(1 - 3,8 \cdot \frac{0,074}{3}\right)}}{2 \left(1 - 3,8 \cdot \frac{0,074}{3}\right)} = 13,95 \text{ мм};$$

$$l_c = 13,95 + 1,7 = 15,65 \text{ мм}.$$

Визначаємо енергосилові параметри по формулах 2.23 - 2.25:

$$P'_{cp} = 691,1 \left(1 + 0,35 \cdot 0,074 \cdot \frac{15,65}{1,5} = 877,8 \text{ Н / мм}^2;\right)$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,074) = 0,35;$$

$$P_{cp} = 953 \cdot \left(1 - \frac{83 + 88}{2 \cdot 953}\right) = 905,3 \text{ Н / мм}^2;$$

$$P = 905,3 \cdot 0,0164 \cdot 1,00 = 14,8 \text{ МН}.$$

Визначаємо момент прокатки і потужність прокатки за формулами 2.26 - 2.28:

$$\psi = 0,48 \left(\frac{11,1}{15,9}\right)^2 = 0,23;$$

$$M = 2 \cdot 0,23 \cdot 15,9 \cdot 0,0159 + 1,735 \cdot 1,00 \cdot 0,275 \cdot 83 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{1,285 \cdot 88}{1,735 \cdot 83}\right) = 0,13 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,13 \cdot \frac{5,5}{0,275} = 2496 \text{ кВт} < 4800.$$



Визначаємо температуру штаби по формулах 2.29 - 2.31:

$$m = 2,2 - 0,65 \left( \frac{88}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,15;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,15 \cdot (857 + 748) \cdot \ln \frac{1,735}{1,285} = 52^\circ \text{C};$$

$$t_k = 88 + 52 = 140^\circ \text{C}.$$

Кліть 3

$$H_0 = 2,33 \text{ мм}; h_2 = 1,285 \text{ мм}; h_3 = 0,945 \text{ мм}; \Delta h = 0,35 \text{ мм}; \varepsilon = 26\%; t = 151^\circ \text{C}; v = 7 \text{ м/с}.$$

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

Коефіцієнт тертя визначимо з виразів 2.4 - 2.10:

$$f_o = 0,076 - 0,0019 \cdot 7 + 0,031 \left[ (1,07 - 0,14 \cdot 7)^3 + 0,054 \cdot 7 - 0,26 \right] = 0,079;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,26 + 165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,26) = 1,07;$$

$$k_n = 1,04;$$

$$k_{cm} = 1;$$

$$k_t = 0,752 + 0,472(1,11 - 0,0044 \cdot 151)^{2,358} = 0,82;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,26 = 0,752; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,26 = 0,472; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,26 = 2,358. \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,079 \cdot 1,07 \cdot 1,04 \cdot 0,82 = 0,072;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,072 - 0,018 = 0,097.$$

Границя текучості розраховуємо по формулі 2.11 - 2.15:

$$\varepsilon_s = \frac{2,33 - 0,945}{2,33} = 0,59;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,59 - 0,4)^{0,5} = 1,34;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,34 = 639,5 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38(0,5 + \ln 129 / 13,8)^2 = 1,28;$$

$$n_t = 0,7 + 0,23 \left( 1 - \frac{151}{300} \right)^2 = 0,86;$$

$$u = 5500 \cdot \frac{0,26}{11,1} = 129 \text{ с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,26} = 8,5 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,3 \cdot 8,5 = 11,0 \text{ мм};$$

$$\sigma'_{T1} = 1,28 \cdot 0,86 \cdot 255 + 284 \cdot 1,34 = 661,3 \text{ H / мм}^2.$$

Опір металу деформації розраховуємо по формулі 2.16 - 2.17:

$$\sigma_\phi = 1,15[674 + 0,67(661,3 - 674)] = 771 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 661,3 = 760,5 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot 674 = 101 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 661,3 = 99,2 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{205}{2 \cdot 771} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{104}{760,5} = 0,87.$$

Довжину дуги контакту знаходимо з формул 2.18 - 2.22:

$$C = 0,86 \cdot 771 \cdot \frac{275}{47500} = 3,84 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,86 \cdot 760,5 \cdot \frac{275}{95000} = 1,89 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{1,285 \cdot 0,945} = 1,1;$$

$$l_c = \frac{3,84 + \sqrt{16 + 4 \cdot 275 \cdot 0,26 \cdot \left(1 - 3,84 \frac{0,091}{2,2}\right)}}{2 \cdot \left(1 - 3,84 \frac{0,091}{2,2}\right)} = 11,7 \text{ мм};$$

$$l_c = 11,7 + 1,89 = 13,6 \text{ мм}.$$

Визначаємо енергосилові параметри по формулах 2.23 - 2.25:

$$P'_{cp} = 771 \left(1 + 0,39 \cdot 0,091 \frac{14}{1,1}\right) = 1139 \text{ Н / мм}^2;$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,091) = 0,39;$$

$$P_{cp} = 1139 \left(1 - \frac{205}{2 \cdot 1142}\right) = 1027 \text{ Н / мм}^2;$$

$$P = 1027 \cdot 0,014 \cdot 1,0 = 14,4 \text{ МН}.$$

Визначимо момент і потужність прокатки по формулах 2.26 - 2.28:

$$\psi = 0,48 \left(\frac{11,9}{13,6}\right)^2 = 0,31;$$

$$M = 2 \cdot 0,31 \cdot 15 \cdot 0,014 + 1,385 \cdot 1,00 \cdot 0,275 \cdot 101 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,945 \cdot 104}{1,285 \cdot 101}\right) = 0,154 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,151 \frac{7}{0,275} = 3689,8 \text{ кВт} < 4800.$$

Визначимо температуру штаби по формулах 2.29 - 2.31:

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{151}{480} - 0,042\right)^{1,4} = 2,09;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,09(771 + 1027) \ln \frac{1,285}{0,945} = 59^\circ \text{ C};$$

$$t_k = 151 + 59 = 210^\circ \text{ C}.$$

## Кліть 4

$$H_0 = 2,33\text{мм}; h_3 = 0,945\text{мм}; h_4 = 0,8\text{мм}; \Delta h = 0,145\text{мм}; \varepsilon = 15,3\%; t_H = 210^\circ \text{C}; v = 8,5\text{м/с}.$$

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

Коефіцієнт тертя розраховуємо по формулах 2.4 - 2.10:

$$f_0 = 0,99[0,062 + 0,005 \cdot 4,4] = 0,083;$$

$$k_v = 0,56 + 0,7(1 - 0,025 \cdot 8,5)^2 = 0,99;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,153 + 0,165 \cdot 4,4(1 - 3,33 \cdot 0,153) = 1,13;$$

$$k_t = 0,57 + 0,77(1,11 - 0,0044 \cdot 210)^{2,97} = 0,58;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,153 = 0,57; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,153 = 0,77; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,153 = 2,97. \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,083 \cdot 1,13 \cdot 1,04 \cdot 0,58 = 0,057;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,057 - 0,018 = 0,073.$$

Границя текучості розраховуємо по формулах 2.11- 2.15:

$$\varepsilon_z = \frac{2,33 - 0,8}{2,33} = 0,66;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,66 - 0,4)^{0,5} = 1,46;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,46 = 674\text{Н / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left( 0,5 + \frac{\ln 141}{13,8} \right)^2 = 1,33;$$

$$n_t = 0,7 + 0,23 \left( 1 - \frac{210}{300} \right)^2 = 0,82;$$

$$u = 8500 \frac{0,153}{9,2} = 141\text{с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,145} = 6,3 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 6,3 = 8,82 \text{ мм};$$

$$\sigma'_{T1} = 1,33 \cdot 0,82 \cdot 255 + 287 \cdot 1,46 = 697,1 \text{ Н / мм}^2.$$

Опір металу деформації розраховуємо по формулах 2.16 - 2.17:

$$\sigma_\phi = 1,15[687 + 0,67(697,1 - 687)] = 798 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 693,1 = 801,6 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 697,1 = 104,5 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_s = 0,15 \cdot 687 = 103 \text{ Н / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{208}{2 \cdot 798} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{105}{801,6} = 0,87.$$

Довжину дуги контакту визначимо з формул 2.18 - 2.22:

$$C = 0,87 \cdot 798 \frac{275}{47500} = 4 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 801,6 \frac{275}{95000} = 2 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{0,945 \cdot 0,8} = 0,87 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{4 + \sqrt{16 + 4 \cdot 275 \cdot 0,145 \left(1 - 4 \frac{0,076}{2 \cdot 0,87}\right)}}{2 \left(1 - 4 \frac{0,076}{2 \cdot 0,87}\right)} = 9,8 \text{ мм};$$

$$l_c = 9,8 + 2 = 11,8 \text{ мм}.$$

Енергосилові параметри визначаємо з формул 2.23 - 2.25:

$$P'_{cp} = 798 \left( 1 + 0,42 \cdot 0,076 \frac{11,8}{0,87} \right) = 1143 \text{ H / мм}^2;$$

$$C_H = 0,17 \left( 1 + 14,7 \frac{0,076}{0,87} \right) = 0,39;$$

$$P_{cp} = 1143 \left( 1 - \frac{208}{2 \cdot 1149} \right) = 1040 \text{ H / мм}^2;$$

$$P = 1040 \cdot 0,0118 \cdot 1,00 = 12,3 \text{ МН}.$$

Момент прокатки і потужність прокатки визначимо з формул 2.26 - 2.28:

$$\psi = 0,48 \left( \frac{6,3}{11,8} \right)^2 = 0,14;$$

$$M = 2 \cdot 0,14 \cdot 12,3 \cdot 0,0118 + 0,945 \cdot 1,00 \cdot 0,275 \cdot 103 \cdot 10^{-3} \left( 1 - \frac{0,8 \cdot 105}{0,945 \cdot 103} \right) = 0,044 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,044 \cdot \frac{8,5}{0,275} = 1306 \text{ кВт}.$$

Визначимо температуру штаби з формули 2.29 - 2.31:2

$$m = 2,2 - 0,65 \left( \frac{210}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,02;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,02 \cdot (798 + 1045) \ln \frac{0,945}{0,8} = 30^\circ \text{ C};$$

$$t_k = 210 + 30 = 240^\circ \text{ C}.$$

Результати всього розрахунку зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Режими деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби розмірами  $0,8 \times 1000$  зі сталі 08пс

№ кліті	$h$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$ , %	$\varepsilon$ , %	$\sigma_{\phi}$ , Н / мм <sup>2</sup>	$l_c$ , мм	$P$ , МН	$M$ , МН · м	$N$ , кВт	$f_n$	$t_k$ , °С	$\sigma_{T1}$ , Н / мм <sup>2</sup>
1	1,735	0,935	35	35	562	20,2	20,1	0,20	2583	0,19	99	531
2	1,285	0,45	26	52	748	15,9	14,1	0,13	2496	0,105	151	662
3	0,945	0,34	26	65	787	14	15	0,156	3812	0,097	210	690
4	0,8	0,145	15,3	70	802	11,8	12,3	0,044	1306	0,073	241	703

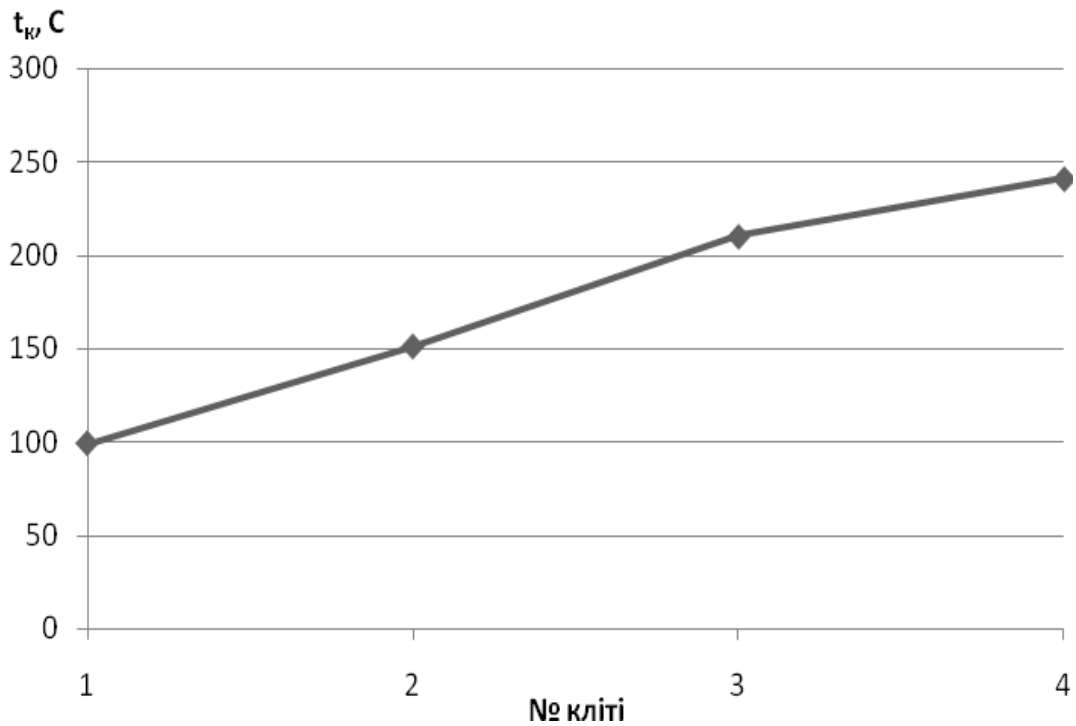


Рисунок 2.1 – Розподіл моменту прокатування по клітях

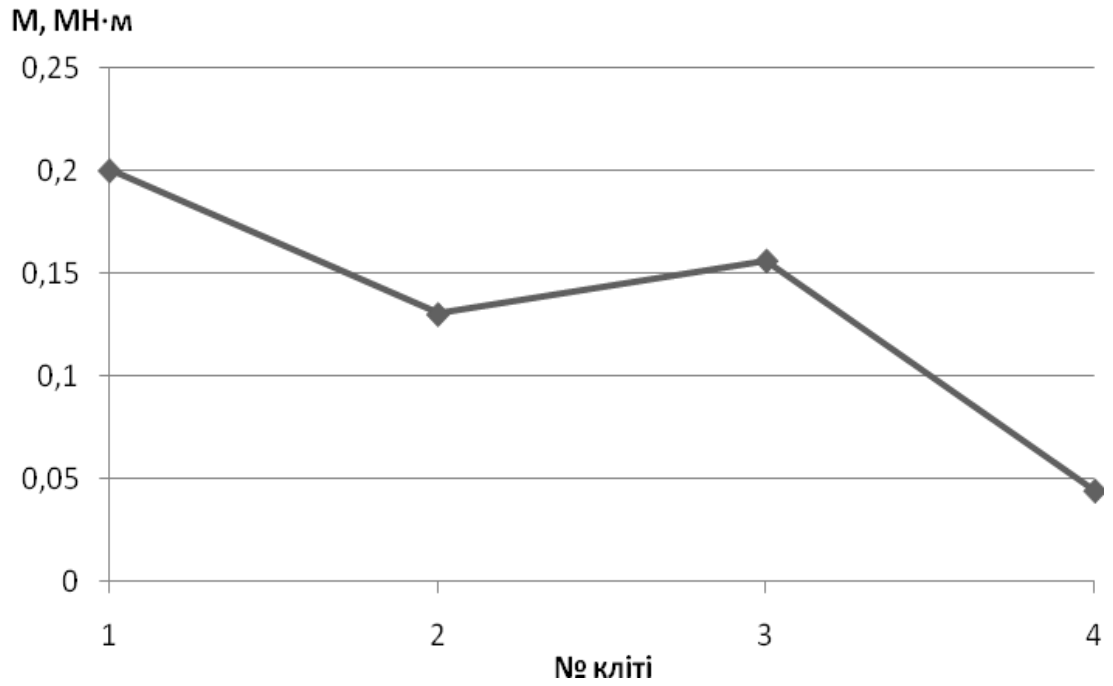


Рисунок 2.2 – Розподіл моменту прокатування по клітях

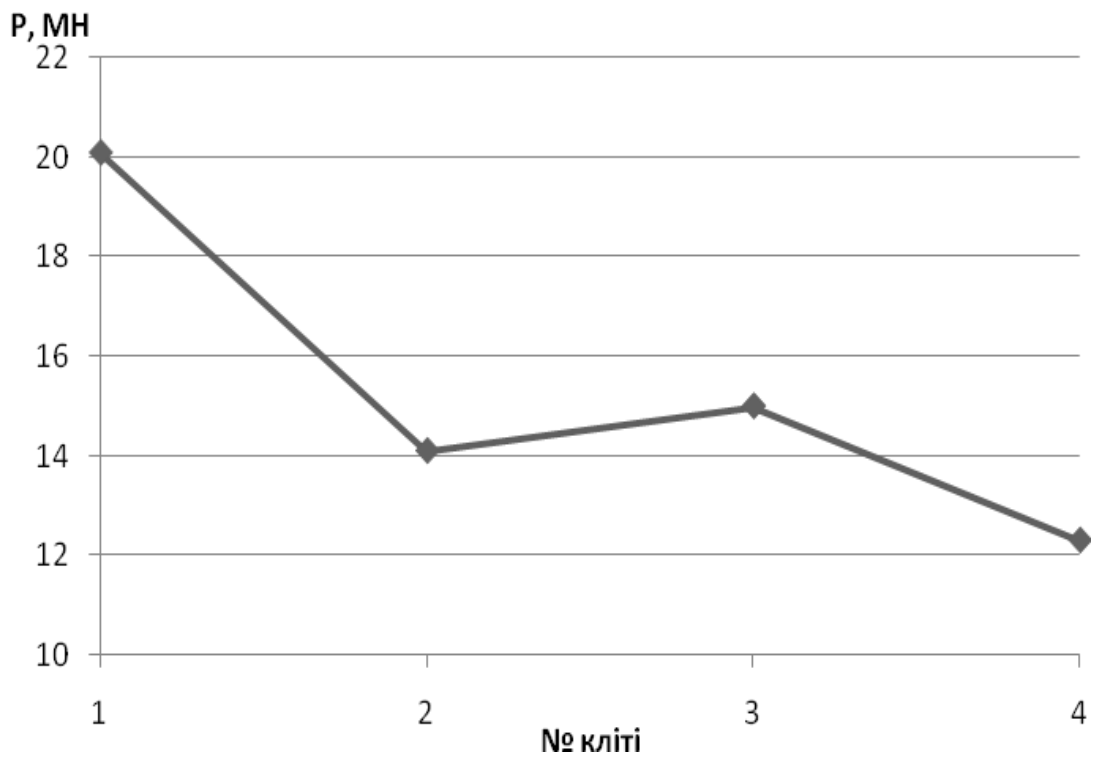


Рисунок 2.3 – Розподіл зусилля прокатування по клітях



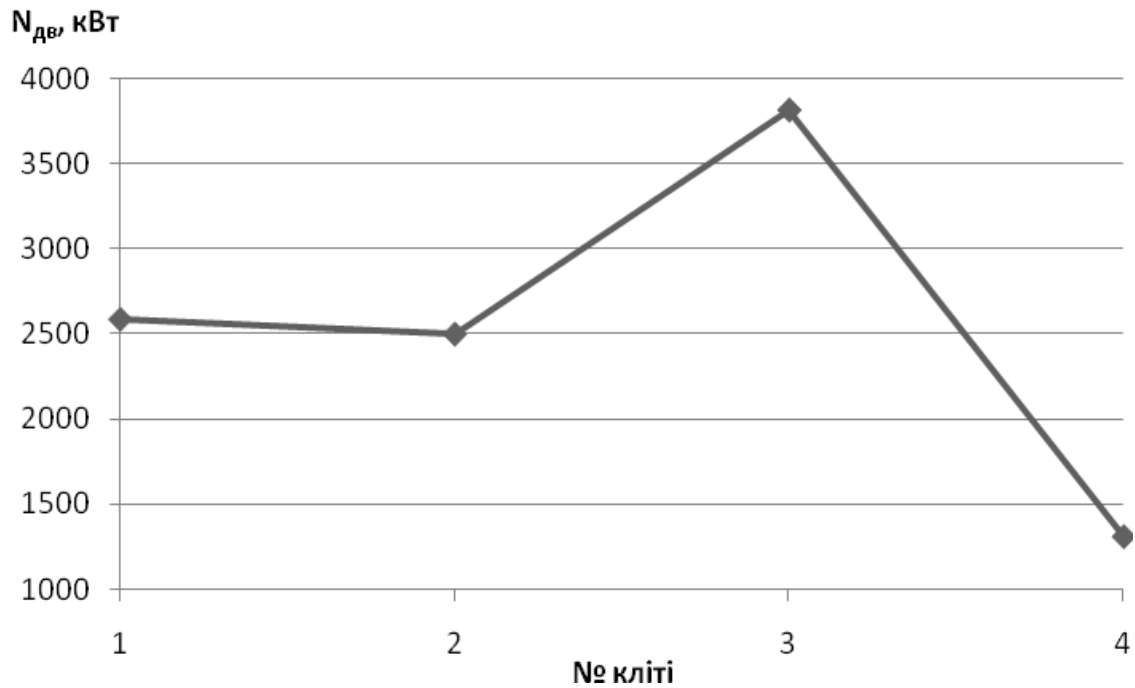


Рисунок 2.4 – Розподіл потужності двигуна при прокатуванні по клітях

## 2.2 Розрахунок собівартості 1 тону металу

Розраховуємо суму витрат на відходи виробництва за заводськими даними [27].

Задано:

$$\sum_{\text{зад}} = K_{\text{рм}} \cdot Ц_{\text{т. зад}}, \quad (2.32)$$

де  $K_{\text{рм}} = 1,095$  – норма витрат металу;  $Ц_{\text{т.зад}} = 8728,17$  грн. – ціна однієї тону металу.

$$\sum_{\text{зад}} = 1,095 \cdot 8728,17 = 9557,35 \text{ грн.}$$

Відходи:

Обріз для переплавки:

$$\sum_{\text{обр}} = K_{\text{обр}} \cdot Ц_{\text{т. обр}}, \quad (2.33)$$

де  $K_{\text{обр}} = 0,052$  – норма витрат на обріз;  $\text{Ц}_{\text{т.обр}} = 430$  грн. – ціна однієї тони обрізі.

$$\sum_{\text{обр}} = 0,052 \cdot 430 = 22,36 \text{ грн.}$$

Не кондиції:

$$\sum_{\text{некон}} = K_{\text{некон}} \cdot \text{Ц}_{\text{т. некон}}, \quad (2.34)$$

де  $D_{\text{о некон}} = 0,032$  – норма витрат на не кондицію;  $\text{Ц}_{\text{т. некон}} = 763,08$  грн. – ціна однієї тони не кондиції.

$$\sum_{\text{некон}} = 0,032 \cdot 763,08 = 24,41 \text{ грн.}$$

Кількість чаду на одну тону  $D_{\text{о чад}} = 0,011$ .

Розраховуємо статтю задано за вирахуванням відходів:

$$\text{Разом} = \sum_{\text{зад}} - \sum_{\text{обр}} - \sum_{\text{некон}}, \quad (2.35)$$

$$\text{Разом} = 9557,35 - 22,36 - 24,41 = 9510,58 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на енергетику

Паливо-технологічне:

$$\sum_{\text{топ. тех}} = K_{\text{топ}} \cdot \text{Ц}_{\text{топ}}, \quad (2.36)$$

де  $K_{\text{о пал}} = 0,041$  – кількість витраченого палива на одну тону;  $\text{Ц}_{\text{пал}} = 573,41$  грн. – ціна палива.

$$\sum_{\text{топ. тех}} = 0,041 \cdot 573,41 = 23,50 \text{ грн.}$$

Електроенергія:

$$\sum_{\text{енерг}} = K_{\text{енерг}} \cdot \text{Ц}_{\text{енерг}}, \quad (2.37)$$

де  $D_{\text{о енерг}} = 0,088$  кВт/час – кількість витраченої електроенергії на одну тону;  $\text{Ц}_{\text{енерг}} = 352,81$  грн. – ціна на електроенергію.

$$\sum_{\text{енерг}} = 0,088 \cdot 352,81 = 31,05 \text{ грн.}$$

Пар:

$$\sum_{\text{пар}} = K_{\text{пар}} \cdot C_{\text{пар}}, \quad (2.38)$$

де  $D_{\text{о пара}} = 0,107$ ;  $C_{\text{пар}} = 65,58$  грн – ціна пару.

$$\sum_{\text{пар}} = 0,107 \cdot 65,58 = 7,02 \text{ грн.}$$

Вода:

$$\sum_{\text{вода}} = K_{\text{вода}} \cdot C_{\text{вода}}, \quad (2.39)$$

де  $D_{\text{о енерг}} = 0,019$  тис. м<sup>3</sup> – норма води на випуск однієї тони;

$C_{\text{енерг}} = 203,28$  грн. – ціна на воду.

$$\sum_{\text{вода}} = 0,019 \cdot 203,28 = 3,86 \text{ грн.}$$

Стисле повітря:

$$\sum_{\text{сж. повіт.}} = K_{\text{сж. повіт.}} \cdot C_{\text{сж. повіт.}}, \quad (2.40)$$

де  $K_{\text{сж}} = 0,123$  тис. м<sup>3</sup> – норма стислого повітря на випуск однієї тони;  $C_{\text{сж. возд}} = 29,48$  грн. – ціна на стисле повітря.

$$\sum_{\text{ст. повіт}} = 0,123 \cdot 29,48 = 3,62 \text{ грн.}$$

Разом енергетичних витрат:

$$\text{Разом} = \sum_{\text{енерг}} + \sum_{\text{пар}} + \sum_{\text{вода}} + \sum_{\text{сж. возд}}, \quad (2.41)$$

$$\text{Разом} = 31,05 + 7,02 + 3,86 + 3,62 = 45,55 \text{ грн.}$$

За заводськими даними витрати по переділу складають 158,48 грн.

Собівартість 1 тони прокату складе:

$$C_{\text{ц}} = 9510,58 + 158,48 = 9669,06 \text{ грн.}$$

де 9510,58 грн. - стаття задано за вирахуванням відходів; 158,48 грн. - витрати по переділу.

### **2.3 Висновки до розділу**

Проаналізовано вплив факторів прокатки (температури, швидкості, сили тертя) на режим деформації штаби.

Розрахунки режиму деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби розмірами  $0,8 \times 1000$  мм показали максимальну силу прокатки 20,1 МН. З урахуванням якої було встановлено максимальну потужність на валу двигуна 3812 кВт.

Розраховані техніко-економічні показники прокатки даного профілю з собівартістю 9669,06 грн за 1 тону прокату.

## 3 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ ХОЛОДНОКАТАНОЇ ШТАБИ

### 3.1 Розрахунок робочих і опорних валків

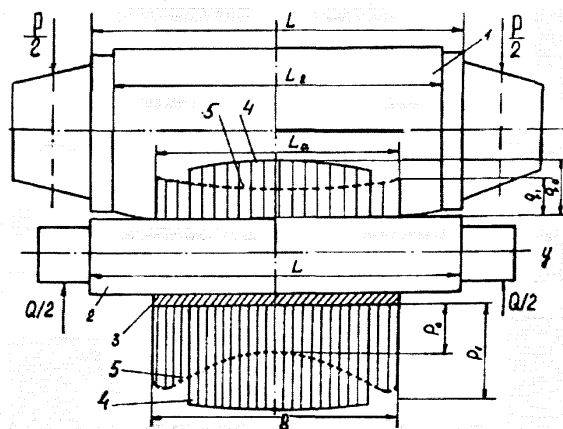
У стані кварту встановлена чотири валки: два робочі (меншого діаметра) і два опорних (більшого діаметра). При прокатуванні тиск металу з робочих валків передається на опорні і сприймається підшипниками [21].

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

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

Для робочого валка: діаметр бочки валка 470 мм, довжина бочки валка 1680 мм, довжина валка 3380 мм, довжина шийки валка 850 мм, діаметр шийки 260 мм.

Максимальний крутний момент на одному робочому валку  $M_{кр} = 110 \text{кН} \cdot \text{м}$ . Схема до розрахунку наведена на рисунку 3.1.



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

Рисунок 3.1 – Валки до розрахунку чотирьохвалкового стану

Визначаємо розмірні параметри валків і виконуємо ескіз валкового вузла й схему його навантаження.

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

$$D_{БР \min} = D_{БР} - k_{Пр} \cdot D_{БР}, \quad (3.1)$$

де  $k_{Пр}$  - коефіцієнт переточування.

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

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

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

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

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

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{l_{шс}}{2} = \frac{1695}{2} = 848\text{мм}; \\ c' &= c - r = 848 - 130 = 718\text{мм}; \\ a &= L_{БО} + 2 \frac{l_{шс}}{2} = 1760 + 1695 = 3455\text{мм}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Визначаємо розподіл зусилля між робочими і опорними валками по формулах:

$$\frac{P_{он}}{P_p} = \left( \frac{D_{он}}{D_p} \right)^4, \quad (3.3)$$

$$P_p = P \cdot \frac{1}{1 + \left( \frac{D_{он}}{D_p} \right)^4}, \quad (3.4)$$

$$P_{on} = P - P_p, \quad (3.5)$$

Визначаємо розподіл зусилля між робочими і опорними валками по формулах 3.3 - 3.5:

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

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

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

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

Еквівалентна сила вигину бочки робочого валка:

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

Напруга робочого валка вигину:

$$M_p = \frac{P_p}{4} \left( a' - \frac{b}{2} \right), \quad (3.6)$$

Максимальна напруга вигину посередині бочки валка:

$$\sigma_p = \frac{M_p}{0,1 D_{БР \min}^3}, \quad (3.7)$$

Напруга крутіння на шейку провідного валка:

$$\tau_p = \frac{M_{кр}}{0,2 D_{БР \min}^3}, \quad (3.8)$$

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

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{\text{Бр}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Бр}}^2}, \quad (3.9)$$

Визначимо максимальний згинальний момент посередині бочки по формулі 3.6:

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

Визначимо максимальна напруга вигину з виразу 3.7:

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

Напруга крутіння на шейку провідного валка визначимо з виразу 3.8:

$$\tau_{\text{Бр}} = \frac{0,11}{0,2 \cdot 0,45^3} = 6 \text{ МПа};$$

Еквівалентна напруга по формулі 3.9:

$$\sigma_A = \sqrt{18^2 + 3 \cdot 6^2} = 20,7 \text{ МПа}.$$

Напруга в шейку робочого валка вигину:

$$\sigma_{\text{ру}} = \frac{P_{\text{р}} l_{\text{ру}}}{0,4 d_{\text{ру}}^3}, \quad (3.10)$$



Напруга крутіння в шейку робочого валка:

$$\tau_{рш} = \frac{M_{кр} \psi}{0,2 d_{рш}^3}, \quad (3.11)$$

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

$$n_{рб} = \frac{\sigma_e}{\sigma_{ед}}, \quad (3.12)$$

Напруга в шейку робочого валка вигину знаходимо з виразу 3.10:

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

Напруги крутіння в шейку валка по формулі 3.11:

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

Еквівалентна напруга:

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

Запас міцності бочки й шейки робочого валка з виразу 3.12:

$$n_{рш} = \frac{750}{96,6} = 7,76 \gg [n] = 5.$$

Опорні валки розраховуємо на міцність тільки по напругах вигину.

Момент і напруга вигину по середині бочки по:

$$M_{onB} = \frac{P_{on}}{4} \left( a - \frac{b}{2} \right), \quad (3.13)$$

$$\sigma_{onB} = \frac{M_{onB}}{0,1D_{onB \min}^3}, \quad (3.14)$$

Напруга в шейку: у перетині 2 - 2 по:

$$\sigma_{onu2} = \frac{P_{on} \cdot l_{uon}}{0,4(d_{uon} + r_{on})^3}, \quad (3.15)$$

у перетині 1 - 1:

$$\sigma_{onu1} = \frac{P_{on2} \left( \frac{l_{uon}}{2} - r \right) \psi}{0,1d_{uon}^3}, \quad (3.16)$$

Момент і напруга вигину по середині бочки визначаємо з формул 3.13 - 3.16:

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

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

Напруга в шейку:

Перетин 2 - 2:

$$\sigma_{onu2} = \frac{17,76 \cdot 1,69}{0,4(0,73 + 0,13)^3} = 117,9 \text{ МПа}.$$

Перетин 1 - 1:

$$\sigma_{\text{ном}} = \frac{\frac{17,76}{2} \left( \frac{1,69}{2} - 0,13 \right) \cdot 1,37}{0,1 \cdot 0,73^3} = 228 \text{ МПа}.$$

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

$$n_{\text{ном}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_{\text{ном}}} = \frac{750}{228} = 3,3 < [n] = 5$$

### 3.2 Розрахунок тихохідного натискного механізму

На рисунку 3.2 наведена кінематична схема натискного механізму чотирьохвалкової робочої кліти стану 1680.

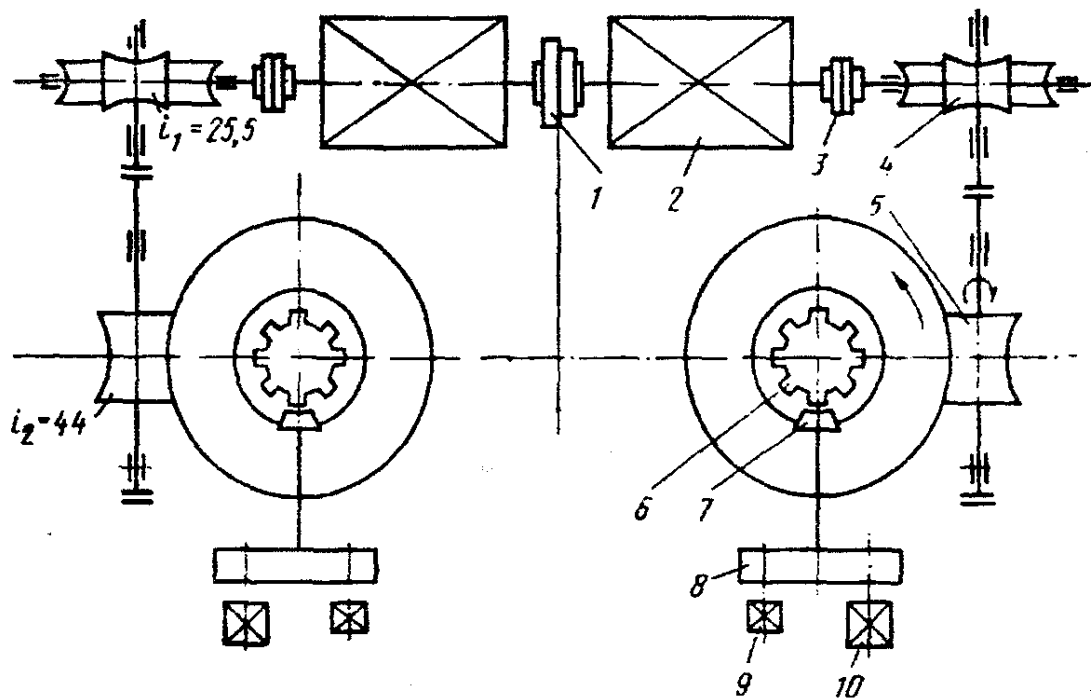


Рисунок 3.2 – Кінематична схема натискного механізму

Редуктор натискного механізму змонтований в окремому корпусі, установленому на верху станини. Крайне верхнє положення натискного гвинта фіксується командоапаратом 10, з'єднаним з черв'ячного колеса через конічну шестеренну передачу 7 і кінематичний редуктор 8. положення валків контрольного датчик 9, що передає імпульс на приймач, установлений на пості у вальцювальника.

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

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

#### *Натискний гвинт і гайка*

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

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

$$\sigma_{\text{сж}} = 4Y / \pi d^2_H, \quad (3.17)$$

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

$$\tau = M_B / 0,2D^3, \quad (3.18)$$

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

Напруга зминання між витками гвинта і гайки визначаємо з виразу (3.17):

$$\sigma_{см} = 4Y / \pi(d^2 - d_1^2)z, \quad (3.19)$$

Напруга зминання по площі зіткнення гайки зі станиною:

$$\sigma_{см} = 4Y / \pi(D^2 - D_{омв}^2), \quad (3.20)$$

З формули 3.17 визначимо напруга стиску в перетині нижнього опорного кінця гвинта:

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

Напруга крутіння в тілі гвинта визначимо з виразу 3.18:

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

Напруга зминання між витками гвинта і гайки знаходимо з виразу 3.19:

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

Напруга зминання по площі зіткнення гайки зі станиною визначаємо по формулі 3.20:

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

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

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

$$M_B = Y[\mu_n \cdot d_n / 3 + d_{cp} / 2 \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi)], \quad (3.21)$$

де  $Y$  – зусилля, що діє на натискний гвинт;  $d_n$  – діаметр п'яти натискного гвинта;  $\mu_n$  – коефіцієнт тертя в п'яті;  $d_{cp}$  – середній діаметр різьблення натискного гвинта;  $\alpha$  – кут підйому різьблення;  $\varphi$  – кут тертя в різьбленні між натискною гайкою й гвинтом; звичайно (при нормальному змащенні різьблення) приймають  $\mu_n = 0,1$ , тоді  $\varphi = 4^\circ 34'$ ,  $d_n = 520 \text{ мм}$ ;  $\mu_p = 0,08$ .

При опусканні гвинта:

$$M'_B = 150[0,52 / 3 \cdot 0,1 + 0,404 / 2 \cdot \text{tg}(2^\circ 10' + 4^\circ 34')], \quad (3.22)$$

При підйомі гвинта:

$$M''_B = 150[0,52 / 3 \cdot 0,1 + 0,202 \text{tg}(4^\circ 34' + 2^\circ 10')], \quad (3.23)$$

З виразу 3.21 визначаємо момент необхідний для обертання гвинта в період пауз, при опусканні гвинта:

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

З виразу 3.22 визначаємо момент необхідний для обертання гвинта в період пауз, при підйомі гвинта:

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

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

$$M_H = N_H / \omega_H = 30 / \pi \cdot N_H / n_n \approx 9,56 \cdot N_H / n_n, \quad (3.24)$$

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

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

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

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

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

Визначимо цей додатковий момент.

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

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

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

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

$$M'_{дин} = I_{np}\varepsilon, \quad (3.25)$$

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

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

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

Моменти на валу електродвигуна в період розгону:

- при опусканні натискного гвинта:

$$M'_{дв} = M'_{ст} + M'_{дин}, \quad (3.26)$$

- при підйомі натискного гвинта:

$$M''_{дв} = M''_{ст} + M''_{дин}, \quad (3.27)$$

З виразів 3.25 - 3.27 визначимо моменти на валу електродвигуна в період розгону при опусканні і при підйомі натискного гвинта:

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

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



### 3.3 Висновки до розділу

Розрахунок на міцність робочих і опорних валків показали, що за даних умов навантаження запас міцності шийки опорного валка по перетину 1 – 1 дорівнює 3,3 це менше припустимого  $[n] = 5$ . Перетин 1 – 1 є небезпечним, тому що в ньому велика напруга  $\sigma = 228 \text{ МПа}$ .

При повторно-короткочасному режимі роботи електродвигуна основне навантаження становлять динамічне (а не статистичні) моменти. Тому що  $M_{\text{об max}} = 3,42 \text{ кН} \cdot \text{м}$  менше  $M_H = 3,44 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , то електродвигун забезпечить заданий режим роботи.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційних шкідливих та небезпечних чинників виробничого середовища прокатного цеху

ЦХП - 1 відноситься до Пб категорії за ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.005-88, тому що витрат енергії становлять приблизно 178 ккал/рік.

Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, пульти керування, шумозахисні кабіни), а також виключати можливість:

- ведення процесу при несправності кінцевих вимикачів, пристроїв заземлення, огорожень;
- вимикання стана при перебуванні працюючих у небезпечній зоні біля стану [23].

Для запобігання травмування повинні бути виключені всі роботи з ручною подачею або іншими операціями на стані. Є випадки травмування частинами валків, які відлітають, і іншими частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їх руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

Травмонебезпечні операції по стропуванню і перевезенню валків на візку; остання повинна завантажуватися не вище ботів. При стропуванні і знятті валків працюючі повинні стояти збоку візка.

На ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680, внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 дБА при нормі 80 дБА ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.003-83.

Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка чинників виробничого і трудового процесу  
вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> <u>I клас безпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас безпеки</u>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас безпеки</u>						90
	Ангідрид сірчастий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
Масла мінеральні	5	6,78	1,36				
2	Пил переважно фіброгенної дії мг/м <sup>3</sup>	4,0	4,8	1,2			95
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.						
4	Шум, дБА	85	92			7	90
5	Інфразвук дБ						
6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м; - діапазон промислової частоти, кВ/м; - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м <sup>2</sup>						
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря <sup>0</sup> С;	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,2-0,4	0,4				
	- відносна вологість повітря, %;	40-60	45				
	-інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>						

## 4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників прокатного виробництва

### *Технічні рішення по виробничій санітарії*

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов забезпечення прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання й відводу стічних і поверхневих вод. Рівень стічних і поверхневих вод на площадці повинен бути нижче рівня підлоги підземних споруджень цеху. Завод розташовують із підвітряної сторони до вітрів переважного напрямку.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості шкідливих речовин, що виділяються у навколишнє середовище, шуму, вібрації й інших шкідливих факторів. Передбачають заходи, які зменшують несприятливий вплив на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі, робочого зони приміщень [23].

Для металургійного заводу ширина санітарно-захисної зони визначається обсягом випуску сталі. Якщо останній становить більше 1 млн. тонн/рік, ширину зони приймають 1000 м. У такий спосіб ширина захисної зони навколо комбінату «Запоріжсталь» становить 1000 м. Відповідно до санітарної класифікації його відносять до першого типу виробництв. Обсяг виробничих приміщень на одного робітника повинен становити не менш  $15 \text{ м}^3$ , площа приміщень – не менш  $4,5 \text{ м}^2$ , фактичний обсяг –  $16,3 \text{ м}^3$ , а площа –  $4,6 \text{ м}^2$  на одного працюючого.

В таблиці 4.2. наведено перелік технічних і санітарно-гігієнічних заходів захисту виробничого середовища і робочих місць.

Таблиця 4.2 – Перелік технічних і санітарно-гігієнічних заходів захисту виробничого середовища і робочих місць

№ п	Небезпечні фактори	Захисний пристрій	Принцип дії й призначення	Місце установки
1	Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабінки й перегородки, засоби ЗІЗ	Звукопоглинання й відбиття, ізоляція органа слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
2	Паро виділення тактичної дії	Витяжна вентиляція	Примусове механічне видалення пар, що утворилися, масел	Над станом
3	Небезпечний рівень струму й напруги	Ізоляція й огороження струмоведучих частин Заземлення, блокування Запобіжники плавкі, дистанційні, магнітні, штучні	Захист від дотику до струмоведучим частинам Захист від дотику до металевих частин устаткування Захист від високих рівнів струму, керування двигунами на відстані	Навколо струмоведучих частин Біля корпусів електродвигуна На панелях пульта керування
4	Частини, що рухаються	Запобіжні пристрої, сітки, кожуха	Відключення й розрив ланцюга при перевантаженнях, захисту від зіткнення з частинами, що рухаються	В електросхемах приводів, навколо встаткування
5	Метал, що переміщується	Огороження й розмітка небезпечної зони Засоби звуковий і світловий сигналізації Знаки безпеки	Захист від травм при падінні металу під час його переміщення	На території небезпечної зони На мостовому крані На огороженні небезпечної зони
6	Горючі речовини	Герметизація й витяжна вентиляція	Захисту від опіків при пожежі	Над місцем утворення пару і витоків

### Освітлення

У будинку прокатного цеху передбачене природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через світлові прорізи в бічних стінах.

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного освітлення застосовують як правило, газорозрядні лампи (ртутні високого тиски з виправленою кольоровістю, люмінесцентні). Типи світильників обирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення. У прокатному цеху для загального освітлення застосовують лампи накаливання, світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становлять 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на один розряд. У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У таблиці 4.3 наведено прийняті значення освітленості.

Таблиця 4.3 – Прийняті значення освітленості

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

У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом, пунктами керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

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

У зв'язку з тим, що над прокатним відділенням джерела природного освітлення часто запилюються й піддаються рідкому очищенню, у наслідок чого на робочу площадку надходить мала кількість світла, пропонується додаткове штучне освітлення, що у вечірні час і в темний час доби використається як основне освітлення.

### *Санітарно-побутові приміщення*

Згідно СНіП 11-92-76 по санітарно-гігієнічній характеристиці виробничий процес належить до групи 2Б. Для даної групи побутові приміщення містять у себе гардеробні для збереження одягу, тому працююча відведена подвійна шафа.

Є душові приміщення, кожна душова кабінка розрахована на трьох чоловік. Так, наприклад, якщо у відділенні працюють 250 робітників, то, розділивши на 3, одержимо 84 душові кабінки в душовому приміщенні, що відповідає дійсній кількості.

Роздача питної води здійснюється за допомогою фонтанів і сатураторів для одержання питної підсоленої газованої води. Органи санітарного нагляду міністерства охорони здоров'я здійснює систематичний контроль за якістю води.

Туалет числом 9 (з розрахунку 1 на 30 чоловік) розташовані біля робочих місць на відстані не перевищуючому 75 м.

Прийом пици робітники здійснюється у виробничих їдальнях, з урахуванням, що одне місце розраховано на обслуговування чотирьох чоловіків у зміну.

Прасують робочий одяг у пральні ПАТ «Запоріжсталь». Організовано цілодобову роботу фельдшерського здравпункта.

### *Виробничий шум*

Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність. Для оцінки гучності звуків служить міжнародна шкала гучності, градуйована в децибелах, у якому за нульову точку прийнятий поріг чутності, а за вищу - гучність зухвала в органах слуху відчуття болю. Для зменшення шуму на ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680 проводяться реконструктивні зміни деталей, механізму подачі й т.д. Це дозволяє зменшити шум на 10...12 дБА. Якщо ж у випадку проведених заходів фактичний рівень шуму перевищує нормативний, тоді необхідно користуватися засобами індивідуального захисту: беруші, навушники [24].

Таблиця 4.4 – 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
Майстер	Костюм х/б	1	12	1
	Черевики шкіряні		12	1
	Рукавиці брезентові		1	12
Вальцювальник	Костюм х/б	14	12	14
	Черевики шкіряні		12	14
	Рукавиці брезентові		1	168



### *Засоби індивідуального захисту*

Захист тіла людини від впливу шкідливих факторів забезпечується застосуванням спецодягу, взуття, головного убору і рукавиць. Забороняється працювати в брудному і рваному спецодязі [25].

### *Електробезпека*

Особи, яким безпосередньо доручене обслуговування діючих електроустановок, повинні бути здорові й не мати хвороб, а також каліцтв, що перешкоджають виконанню виробничих операцій. Зазначений персонал зобов'язаний пройти медичний огляд:

- при прийманні на роботу;
- повторний огляд не рідше одного разу на два роки.

Особи, призначені для обслуговування електроустановок, зобов'язані пройти виробниче навчання і стажування на робочому місці не менш 12 діб, мати кваліфікаційну групу і права роботи в електричних установках.

Виконувати роботи в електричних установках повинен тільки електрик.

Аналіз нещасних випадків у промисловості свідчить про те, що кількість травм, викликаних дією електрики, порівняно невелике і становить 0,5 - 1% від загальної кількості нещасних випадків. Однак слід зазначити, що із загальної кількості нещасних випадків зі смертельним результатом на виробництві 20 - 40% трапляється внаслідок поразки електричним струмом, що більше, ніж внаслідок дії інших причин, причому близько 80% смертельних поразок електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В.

Живлення електропривода безперервного стана холодної прокатки 1680 здійснюється в такий спосіб: на високовольтні понижувальні трансформатори приходить напруга 10000 В, трансформатор у свою чергу трансформує цю електроенергію у величину змінної трифазної напруги

380 В, що підводить до тиристорних перетворювачів, а вже з них підводить до електродвигуна привода стана й допоміжному устаткуванню.

Для захисту технологічного персоналу від поразки електричним струмом пропоную, заземлення діючого електроустаткування, у тому числі і пости керування, і їхньої kabіни.

Для обслуговуючого персоналу з метою захисту, пропоную використати засоби колективного та індивідуального захисту:

- індикатори напруги;
- дерев'яні тумби, підставки;
- огороження;
- діелектричні рукавички.

У виробничому процесі на ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680 для безпеки обслуговуючого персоналу необхідно почати наступні заходи:

- виключити влучення людини в небезпечні зони за рахунок пристрою огорожень, кожухів, захисних блокувань окремих вузлів устаткування. Зменшити небезпека поразки працюючим електричним струмом досягти суворого виконання «Правил пристрою електричних установок» (ПУЕ-76), «Правила технічної експлуатації електроустановок-споживачів» (ПТЕ) і «Правила техніки безпеки» (ПТБ);
- для місцевого штучного освітлення використати знижену напругу змінного струму до 36 В;
- недоступним розташуванням відкритих струмопровідних частин;
- ізоляцією струмопровідних частин, розташованих у робочій зоні, тобто на висоті до двох метрів від рівня підлоги;
- опір ізоляції струмопровідних частин контролюють працівники енергослужби не рідше 2-х раз на рік [24].

Важливе значення в охороні праці і життєдіяльності людини є попередження захворювань від пилу. На ділянці повинен проводитися систематичний контроль над станом запиленості повітря.

Зменшити небезпека при роботах з підйомно-транспортними механізмами передбаченого за рахунок строгого виконання вимог «Правил пристрою і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів» основні з них наступні:

- проведення регламентованих технічних оглядів устаткування;
- оснащення підйомно-транспортних механізмів приладами безпеки.

### *Заходи з пожежної та техногенної безпеки*

Відповідно до СНіП 11-2-80 виробництво холоднокатаного листа ставиться до категорії Д, як виробництво пов'язане з обробкою неспалених речовин і матеріалів у холодному або тепловому стані [31].

По класифікації пожежних зон прокатний цех і лінія по виробництву холоднокатаного листа відносяться до зони класу П-Па, тобто приміщення, у яких міститься тверді речовини, не здатні переходити у зважений стан. Будинок ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» ставиться до IV ступеня вогнестійкості.

Джерелами виникнення пожежі можуть бути:

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

До числа мер по попередженню пожеж і обмеженню поширення вогню відносять:

- прийняті відповідно до норм величини площі між протипожежними перешкодами;

- правильний вибір ступеня вогнестійкості будинків і межі вогнестійкості окремих його елементів;
- дотримання протипожежних розривів між будинками.

Для успішної евакуації людей передбачені шляхи евакуації і евакуаційні виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідне число сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Швидка локалізація і гасіння пожежі досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежного впливу, під'їздів і дорого до будинків. По вогнестійкості прокатний цех відносять до I і II ступенів. Необхідний ступінь вогнестійкості будинків прокатного цеху зазначений у таблиці 4.5.

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для одержання, зберігання й подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні й штучні водойми).

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій цеху, година

Ступінь вогнестійкості	Несучі стіни, сходові клітки, колони	Сходові площадки, сходи, балки	Зовнішні стіни з навісних панелей	Внутрішні несучі стіни	Плити й інші несучі конструкції й перекриття	Плити, настили й інші несучі конструкції
I	2,5(НД)	1(НД)	0,5(НД)	0,5(НД)	1(НД)	0,5(НД)

*Примітка:* НД - не допускається.

На випадок виникнення пожежі використовують первинні засоби пожежогасіння відповідно нормам (табл. 4.6).

Для гасіння пожеж використовується також вода технічна, пожежні гідранти, пісок, повстина.

Таблиця 4.6 – Розрахунок первинних засобів пожежогасіння для ділянки безперервного стана холодної прокатки 1680

Найменування приміщень, споруджень, установок	Од., виміру	Пінні вогнегасники й ОХП-10	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском ємністю 0,5м <sup>3</sup>
			ВВ-2	ВВ-5	УП-1	
Ділянка стана 1680	10210 м <sup>2</sup>	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

#### *Захист навколишнього середовища*

На ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680 одним зі шкідливих факторів є випар емульсії, що відбувається в результаті роботи стана.

Для забезпечення вловлювання пар емульсії на безперервному стані 1680, пропоную: установити над кожною із чотирьох клітей, витяжки з фільтрами. Фільтри періодично міняти, по мірі їх забруднення, для кращої роботи витяжки [25].

## ВИСНОВКИ

Проаналізовано вплив факторів прокатки (температури, швидкості, сили тертя) на режим деформації штаби.

Прискорення роботи валків стану на 0,02 - 0,1 м/с<sup>2</sup> забезпечить збільшення температури до кінця довжини штаби за рахунок підвищення роботи деформації та разом з цим зниження різнотовщинності.

При прискоренні валків при прокатуванні заднього кінця штаба нагрівається на 7 – 10 °С, зменшуються напруга плинину металу і коефіцієнт тертя, що і викликає зниження середньої нормальної контактної напруги та сили прокатки.

Розрахунки режиму деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби розмірами 0,8×1000 мм показали максимальну силу прокатки 20,1 МН. З урахуванням якої було встановлено максимальну потужність на валу двигуна 3812 кВт.

Розрахунки техніко-економічних показників проекту встановили собівартість прокатки 1 тони металу у кількості 9669,06 грн.

Розрахунок на міцність робочих і опорних валків показали, що за даних умов навантаження запас міцності шийки опорного валка дорівнює 3,3 це менше припустимого  $[n] = 5$ . При повторно-короткочасному режимі роботи електродвигуна основне навантаження становлять динамічні (а не статистичні) моменти. Тому що  $M_{дв\ max} = 3,42\text{кН} \cdot \text{м}$  менше  $M_H = 3,44\text{кН} \cdot \text{м}$ , то електродвигун забезпечить заданий режим роботи.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ніколаєв, В.О. Холодна прокатка полос. / Навчальний посібник з дисципліни «Виробництво полос» // Запоріжжя, ЗНТУ, 2012. - 159с.
2. Ніколаєв, В.О. Валки прокатних станів. / Навчальний посібник. // – Запоріжжя, ЗДІА, 2008. – 176 с.
3. Чекмарев, А.П. Калібровка прокатних валків. / Чекмарев А.П., Мутьєв М.С., Машковцев Р.А. // – З.: Металургія, 2014. – 512 с.
4. Николаев, В.А. Холодная прокатка полос на НСХП после предварительной перемотки горячекатанных рулонов / Николаев В.А., Путноки А.Ю., Николенко А.Г., Васильев А.Г., Васильев А.А. // Вісник Національного технічного університету «ХП». Зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – № 47. – С. 28 – 36.
5. Третьяков, А.В. Удельный расход энергии при холодной прокатке / А.В. Третьяков, Б.Е. Локшин, М.А. Беньковский. - Свердловск: Metallurgizdat, 1964. - 84 с.
6. Рыбин, Ю.И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением / Ю.И. Рыбин, А.И. Рудской, А.М. Золотев. - СПб.: Наука, 2004. - 644 с.
7. Николаев, В.А. Особливості технології виробництва рулонної холоднокатаної сталі / В.А. Николаев, А.А. Васильев. - Metallurgiya i gornorudnaya promyshlennost' №6. 2008. ЗГИА. С. 35-37
8. Николаев, В.А. Теория прокатки. – Запорожье, ЗГИА, 2007. – 228 с.
9. Николаев, В.А. Методика расчета режима деформации на непрерывном стане холодной прокатки / В.А. Николаев // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2004. №6. – С 47-52.
10. Никитин, Г.С. Теория непрерывной прокатки: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 2009. 399 с.

11. Ксензук, Ф.А. Прокатка автолистовой стали / Ф.А. Ксензук, Н.А. Трощенко, А.П. Чекмарев, М.М. Сафьян. - М.: Металлургия. 1969.-296 с.
12. Меерович, И.М. Повышение точности листовой прокатки / И.М. Меерович, А.И. Герцев, В.С. Горелик, Э.Я. Классен. - М.: Металлургия, 1969, - 264 с.
13. Полухин, П.И. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / Полухин П.И., Николаев В.А., Полухин В.П., Зиновьев А.В., Косаримов Е.Н. - М.: Металлургия, 1974. - 200с.
14. Мазур, В.Л. Предупреждение дефектов листового проката / В.Л. Мазур, А.И. Добронравов, П.П. Чернов. - М.: Металлургия. 1986. - 141 с.
15. Мазур, В.Л. Производство листа с высококачественной поверхностью. - К.; Техніка, 1982. - 162с.
16. Королев, А.А. Конструкція і розрахунок машин і механізмів прокатних станів. 2-е вид., М: Металлургия, 1985. 376 с.
17. Ніколаєв, В.О. Зменшення товщини кінцевих участків при холодній прокатці полос. // Изв. Вузів. Черна металургия, 2008, №1. - С. 40-43с.
18. Николаев, В.А. Методические указания. для выполнения практических заданий, курсовых и дипломных проектов по дисциплинам «Технология листовой прокатки». Часть 2. Запорожье, ЗГИА, 2013. - 38 с.
19. Сафьян, М.М. Технологія процесів прокатки і волочіння. Листопркатне виробництво / М.М.Сафьян, В.Л.Мазур, А.М.Сафьян, А.И.Молчанов. - Київ. «Вища школа». 1988.- 351 с.
20. Інструкція з охорони праці №06.01-2010 для співробітників прокатного відділення ЦХП-1, Запоріжжя, 2010- 41 с.
21. Жидецький В.Ц. Основи охрани праці. Львів.: Афіша, 2000 - 350 с.
22. Гандзюк М.П. Желібо Е.П. Основи охорони праці. - К. Каравелла, 2004- 408 с.