

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Формування площинності листового прокату з метою її покращення в умовах холодної прокатки штаб**

Виконав: студент II курсу, групи 8.1362-омт
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

М. Ю. Порвишерст

(ініціали та прізвище)

Керівник

доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н.

В.М. Проценко

Рецензент

зав. каф. МТЕТБ, д.т.н., проф.

Ю.О. Белоконь

Запоріжжя – 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
Спеціальність 136 «Металургія»
(код та назва)
Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 08 ” 09 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Порвишерсту Миколі Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Формування площинності листового прокату з метою її покращення в умовах холодної прокатки штаб**

керівник роботи (проекту) Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 10. 23 р. № 1581-с

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2023 року

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Формування площинності. Розрахунок і конструювання головної лінії прокатної кліти. Проектування прокатної кліти. Робота НТА-4 ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Організація виробництва. Охорона праці та техногенна безпека.

Мета кваліфікаційної роботи – аналіз факторів, що впливають на площинності листового прокату, розробка заходів щодо формування площинності листового прокату з метою її покращення в умовах холодної прокатки штаб.

Встановити фактори, що впливають на площинність холоднокатаного тонкоштабового прокату. Визначити засоби та канали, які можуть бути використані при регулюванні площинності штаб на сучасних безперервних та дресировальних прокатних станах.. Проаналізувати організацію робіт на комбінаті, потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори і розробити заходи щодо захисту від них.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення робочого валка з подушкою, опорного валка, станини, компонування елементів у вікні станини, конструкції подушок та підшипникових вузлів опорного валка, технологічна схема НТА-4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–6, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання 08.09.2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	12.09.23 – 13.10.23	
2.	Розділи 2 - 4	17.10.23 – 17.11.23	
3.	Організація виробництва, охорона праці, висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	21.11.23 – 08.12.23	

Студент

_____ (підпис)

Порвишерст М.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Проценко В.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер

_____ (підпис)

Бєлоконь Ю.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 107 с., 16 рис., 17 табл.; використано літературних джерела 22.

Об'єкт дослідження – площинність листового прокату в умовах холодної прокатки штаб, технологія і обладнання холодної прокатки металургійного заводу ПАТ «Запоріжсталь».

Мета магістерської роботи – аналіз факторів, що впливають на площинності листового прокату, розробка заходів щодо формування площинності листового прокату з метою її покращення в умовах холодної прокатки штаб.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime 8, Excel. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020.

Отримані результати і їх новизна – встановлено фактори, що впливають на площинність холоднокатаного тонкоштабового прокату. Визначено засоби та канали, які можуть бути використані при регулюванні площинності штаб на сучасних безперервних та дресирувальних прокатних станах. Наведено формули та виконано розрахунок верстатних профілювань валків станів холодної прокатки, алгоритм визначення локальних потовщень на підкаті, схему автоматичного пристрою для зниження локальної неплщинності холоднокатаних штаб. Зазначені заходи дозволять значно покращити якість продукції, знизити втрати металу та енергетичні витрати.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на неперервному стані холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою, підвищення якості продукції, зменшення енерговитрат і втрат металу.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ПЛОЩИННІСТЬ ШТАБИ, НЕПЕРЕРВНИЙ, ДРЕСИРУВАЛЬНИЙ СТАН, РОБОЧИЙ, ОПОРНИЙ ВАЛОК, СТАНИНА, ПРОФІЛЮВАННЯ, ГІДРОВИГИН

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ФОРМУВАННЯ ПЛОЩИННОСТІ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ З МЕТОЮ ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ В УМОВАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ	9
1.1 Розрахунок профілювань валків станів холодної прокатки	10
1.2 Регулювання площинності штаб на багатоклітинному стані холодної прокатки	14
1.3 Регулювання площинності штаб на дресирувальному стані ...	19
1.4 Алгоритм управління площинністю штаб у листопрокатному цеху	22
2 РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЛІНІЇ ПРОКАТНОЇ КЛІТИ	30
2.1 Основні параметри і розміри	31
2.2 Виробнича програма та режими роботи кліти. Розрахункові навантаження	34
2.3 Картина частот обертання валів, крутних моментів та потужностей у кінематичній лінії кліти	38
3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНОЇ КЛІТИ	41
3.1 Вузол валків	42
3.1.1 Вузол робочого валка	42
3.1.2 Вузол опорного валка	46
3.2 Вузол станин	59
3.2.1 Станини	59
3.2.2 Розпірні (з'єднувальні) елементи	61
3.2.3 Напрямні планки, плитовини та маса вузла станин	62
3.3 Дослідження роботи лінії неперервного травлення гарячекатаних рулонів у ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».....	64
3.3.1 Освоєння комплексу безперервного травильного агрегату №4 та регенерація соляної кислоти у ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»	64
3.4 Організація виробництва на ПАТ «Запоріжсталь»	70
3.4.1 Превентивне обслуговування обладнання на ПАТ «Запоріжсталь»	70
3.4.2 Технічна діагностика обладнання на ПАТ «Запоріжсталь»	71
3.4.2.1 Методи діагностики обладнання, що використовуються на ПАТ «Запоріжсталь».....	73

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	77
4.1 Особливості умов праці у прокатному виробництві	77
4.2 Розробка заходів захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів	98
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
Додаток А – Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи	105

ВСТУП

В даний час особлива увага приділяється покращенню якості металопродукції, а також максимальному скороченню енергетичних витрат та металу, які потрібні для її виробництва. При цьому важливу роль відіграє розвиток процесів обробки металів тиском, що залежить від удосконалення проектування і розрахунку їх основних параметрів. Теоретичним методам визначення оптимальних параметрів процесів прокатки металу присвячено цю магістерську роботу, що є актуальною задачею.

Завдання технолога чи конструктора, що спеціалізується на обробці металів тиском – вибір найоптимальнішого варіанта технології, конструкції інструменту, параметрів устаткування. Раніше для цього зазвичай використовувалося велике число попередніх експериментів, метою яких були перевірка можливості здійснення та визначення оптимальних параметрів технологічного процесу, що проектується. В даний час модернізація існуючих та особливо впровадження нових технологічних процесів обробки тиском утруднені проблемами скорочення термінів та вартості підготовки виробництва, недостатністю інвестицій та жорсткою конкуренцією. Це призводить до неможливості виготовлення експериментального обладнання, у зв'язку з чим зростає роль теоретичних методів проектування, що вимагають істотно менших витрат. При цьому такі особливості процесів холодного деформування, як необхідність створення значних сил деформування та підвищена ймовірність руйнування заготівлі, висувають високі вимоги до точності та надійності розрахункових формул.

У магістерській роботі наведено математичні моделі процесів формування характеристик неплоскостності тонколистового прокату на різних прокатних станах. Рішення включають логічно взаємопов'язану послідовність математичних моделей, за допомогою яких можна кількісно

оцінити ступінь зміни показників, які прямо чи опосередковано характеризують площинність готового прокату, на агрегатах, що вносять основний внесок у ці зміни.

Застосовано методи, засновані на комбінуванні кількох методів математичного моделювання характеристик неплщинності штаб, що змінюються різною мірою.

Представлені алгоритми регулювання площинності штаб на основних агрегатах цеху холодної прокатки, розроблені з урахуванням математичних моделей її формування. Основну увагу приділено методам запобігання локальній неплщинності штаб, яка є найбільш складною для регулювання.

Розглянуто метод управління площинністю штаб у цеху холодної прокатки, що включає два рівні:

тактичний – вирішується завдання проектування, тобто заздалегідь (до прокатки конкретного типорозміру) задаються уставки засобів регулювання на основних агрегатах цеху в залежності від заданої площинності готового прокату;

оперативний – проводиться коригування уставок на кожному агрегаті залежно від величини відхилення фактичної неплщинності від заданого значення.

Метою магістерської роботи є розробка заходів щодо формування площинності листового прокату з метою її покращення в умовах цеху холодної прокатки штаб.

1 ФОРМУВАННЯ ПЛОЩИННОСТІ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ З МЕТОЮ ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ В УМОВАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ

Раніше у літературі були представлені математичні моделі формування площинності штаб на основних агрегатах цеху холодної прокатки, побудовані на основі традиційних класичних методів, які можуть використовуватися як для прогнозування, так і для управління. Математичні моделі були покладені в основу розроблених алгоритмів управління площинністю готової продукції.

На сучасних неперервних та дресирувальних станах існують наступні основні засоби та канали, які можуть бути використані при регулюванні площинності штаб:

1) гідровигин робочих валків та його перекид у вертикальній площині – оперативні канали, функціонуючі у темпі з процесом прокатки;

2) диференційована подача охолоджуючої рідини по довжині бочки валків – менш оперативний (інерційний) канал, який також функціонує у темпі з процесом прокатки;

3) верстатні профілювання валків - не можуть змінюватися в процесі прокатки;

4) режим прокатки (дресирування) (швидкість, натяг, обтискання) – непрямий канал, який може бути використаний при регулюванні площинності за рахунок можливості зміни деформаційних умов по ширині штаби (збільшення або зменшення прогину валків, тобто збільшення або зменшення обтискання на краях штаби та досягнення протилежного ефекту в її середній частині).

Верстатне профілювання валків служить для компенсації їх прогину від зусилля прокатки (дресирування) і вирівнювання деформації по ширині штаби. Правильний вибір вихідного верстатного профілювання валків

дозволяє забезпечити хорошу площинність штаб за рахунок розширення можливостей та діапазону оперативних каналів регулювання.

1.1 Розрахунок профілювань валків станів холодної прокатки

Верстатне профілювання робочих валків визначається залежно від типорозміру штаби, що прокочується (товщини, ширини і марки сталі). У процесі прокатки вихідним верстатним профілюванням керувати неможливо.

Обчислити значення верстатних профілювань можна за формулою (1.1):

$$z_{\text{ст.п.}}(y) = \frac{1}{2} \{ [h(y) - h(0)] + [z_{\text{р.п.}}(y) - z_{\text{р.п.}}(0)] \} - z_T(y) + z_p(y), \quad (1.1)$$

де $z_{\text{р.п.}}(0)$, $z_{\text{р.п.}}(y)$ – сплющування робочого валка та штаби в зоні контакту на початку координат і по ширині штаби ($y = 0$ – середина штаби, $-B/2 \leq y \leq +B/2$, B - ширина штаби), мм;

$z_T(y)$ – теплове профільування робочого валка, мм;

$z_p(y)$ – загальний прогин робочого валка під дією зусилля прокатки та зусилля гідровигину, мм;

$h(y)$, $h(0)$ – оцінка товщини штаби, мм.

Прогин робочого валка розраховували за такою формулою:

$$z_p(y) = \int_0^y \{ G_{p_p}(y, \xi) [q(\xi) - P(\xi)] d\xi \pm G_{F_p} F(\xi) d\xi \} + \int_y^l \{ G'_{p_p}(y, \xi) [q(\xi) - P(\xi)] d\xi \pm G_{F_p} F(\xi) d\xi \} \quad (1.2)$$

де $q(\xi)$ – функція міжвалкового тиску;

$P(\xi)$ – функція, що описує погонне зусилля прокатки;

$F(\xi)$ – функція, що описує погонне зусилля гідровигину;

$G(y, \xi)$ – функція впливу (Грина) для обчислення прогинів від спільної дії згинальних моментів та поперечних зусиль має такий вигляд [1]:

$$G_{p_p}(y, \xi) = k_p \left\{ \left(\frac{y}{l} \right)^2 \cdot \left[3 \left(\frac{\xi}{l} \right) - \left(\frac{y}{l} \right) \right] + (1 + \nu_p) \left(\frac{y}{l} \right) \left(\frac{D_p}{l} \right)^2 \right\}, \quad (1.3)$$

$$G'_{p_p}(y, \xi) = k_p \left\{ \left(\frac{\xi}{l} \right)^2 \cdot \left[3 \left(\frac{y}{l} \right) - \left(\frac{\xi}{l} \right) \right] + (1 + \nu_p) \left(\frac{\xi}{l} \right) \left(\frac{D_p}{l} \right)^2 \right\}, \quad (1.4)$$

$$G_{F_p}(y, \xi) = k_p \left\{ \left(\frac{y}{l} \right)^2 \cdot \left[3 \left(\frac{l_F^*}{l} \right) - \left(\frac{y}{l} \right) \right] + (1 + \nu_p) \left(\frac{y}{l} \right) \left(\frac{D_p}{l} \right)^2 \right\}, \quad (1.5)$$

$$k_p = \frac{l^3}{6E_p J_p}; \quad (1.6)$$

$G_{p_p}(y, \xi)$, $G_{F_p}(y, \xi)$ – функція впливу для прогину робочого валка від дій рівномірно розподіленого навантаження на одиницю довжини та додаткового вигину валків;

l – половина довжини бочки робочого валка, м;

y – координата по ширині штаби, м;

ξ – точка застосування згинального навантаження;

D_p – діаметр робочого валка, м;

ν_p , E_p – коефіцієнт Пуассона, модуль Юнга матеріалу робочого валка;

l_F^* – відстань від точки докладання зусилля гідровигину валків до центральної лінії прокатки (до середини штаби), м;

J_p – момент інерції кола робочого валка:

$$J_p = \frac{\pi D_p^4}{64}, \text{ м}^4.$$

Сплющення робочого валка в зоні контакту зі штабою обчислюється за формулою (1.7), в якій враховується режим прокатки та діаметр робочих валків

$$z_{p.n.}(y) = [a_1 + a_2 P(y)] z_H(y), \quad (1.7)$$

де $z_H(y)$ – сплющування валка за Герцем

$$z_H(y) = 2P(y) C_p \ln \left(\frac{\sqrt[3]{e^2} D_p}{2C_p P(y)} \right);$$

C_p – постійна пружності $\left(C_p = \frac{1 - \nu_p^2}{\pi E_p} \right)$;

$P(y)$ – функція зусилля прокатки, Н;

a_1, a_2 – емпіричні коефіцієнти, одержувані експериментально для кожного конкретного прокатного стану.

Величину теплової опуклості робочих валків обчислювали за такою формулою:

$$z_T(y) = \alpha \cdot \delta t \cdot D_p \cdot y / l, \quad (1.8)$$

де δt – різниця температур по довжині бочки валка, °С;

α – коефіцієнт температурного розширення, °С⁻¹; (для сталі $\alpha \approx 13 \cdot 10^{-6}$ °С⁻¹).

У якості прикладу виконаємо наступний розрахунок.

Довжина бочки валка $L_b = 2,03$ м ($l = 1,015$ м).

Діаметр робочого валка $D_p = 0,6$ м.

Відстань від точки докладання зусилля гідрозгинання робочих валків до центральної лінії штаби $l_F^* = 1,375$ м.

$\Delta h = [h(v) - h(0)] = -0,07 \div -0,01$ мм (менше значення відповідає опуклості підкату, більше – холоднокатаної штаби); $v = V/2$.

Модуль Юнга $E_p \approx 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Коефіцієнт Пуассон $\nu_p = 0,33$.

Результати розрахунків представлені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунків за формулою (1.1) та рекомендовані значення верстатних профілювань робочих валків стану 2030

№ з/п	Ширина штаби, мм	Зусилля прокатки, МН	Величина пружної деформації робочого валка, мм		Різниця сплюснення робочого валка та штаби у зоні контакту, мм	Тепловий профіль робочого валка, мм	Сумарне верстатне профілювання робочих валків по клітям, мм				
			від зусилля прокатки	від зусилля гідрозгинання			1	2	3	4	5
1	1000-1250	9-11	0,1453	±0,0765	0,0049	±0,0461	0,40÷0,20	0,20÷0,10	0,20÷0,10	0,20÷0,10	0,40÷0,30
		11-13	0,1744		0,0054						
		13-15	0,2034		0,0060						
3	1300-1550	11-13	0,1737	±0,0849	0,0047	±0,0538	0,30÷0,10	0,10÷0,00	0,10÷0,00	0,10÷0,00	0,20÷0,10
		13-15	0,2027		0,0059						
4	1600-1800	11-13	0,1230	±0,0927	0,0038	±0,0653	0,20÷0,10	0,10÷0,00	0,10÷0,00	0,10÷0,00	0,20÷0,00
		13-15	0,1434		0,0042						
		15-17	0,1639		0,0046						

Примітки:

значення сумарного верстатного профілювання розраховані з використанням формули зв'язку поперечного профілю та епюри питомих натягів [1] та обрані в залежності від заданого виду епюри питомих натягів у прокатаній штабі: профіль валків 1- ої кліті повинен перевищувати величину прогину робочих валків для створення невеликої некрайової неплоскості в штабі з метою більш стійкого її положення на виході цієї кліті; профілювання валків 2 - 4-ої клітей повинно мати значення трохи менше прогину робочих валків для отримання в штабі незначної крайової неплоскості, оскільки це знижує можливість обривів штаб;

при розрахунку теплового профілю валка різниця температур по довжині бочки валка прийнята $\delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$; зусилля гідровигину для розрахунку приймали рівним $F=475 \text{ кН}$ (50%).

1.2 Регулювання площинності штаб на багатоклітинному стані холодної прокатки

Система автоматичного регулювання площинності штаб (САРП) на багатоклітинному стані холодної прокатки докладно розглянута в роботі [1] на прикладі п'ятиклітинного стану 2030 нескінченної прокатки. У цій роботі на основі результатів досліджень ефективності роботи САРП зроблено такі висновки, підтвержені досвідом її експлуатації:

1) засоби регулювання площинності перших $(n-1)$ клітей n -клітинного прокатного стану слід використовувати для стабілізації процесу, тобто з їх допомогою необхідно створювати в штабі в різних міжклітинних проміжках епюри питомих натягів, що забезпечують поперечну та поздовжню стійкість штаби [2].

2) засоби регулювання останньої n -ї кліті необхідно використовувати для формування напружено-деформованого стану рулонів холоднокатаних штаб, що відповідає вимогам подальшої технології обробки металу та забезпечує отримання готового прокату заданої якості, в тому числі, і заданої площинності.

У роботі [3] показано, що найбільш складними для регулювання є локальні види неплщинності, які часто не можуть бути усунені за допомогою САРП, що функціонує тільки за "відхиленням".

Роботи, що сприяють запобіганню утворення локальних потовщень на гарячекатаному підкаті - однією з головних причин утворення локальної неплщинності, не завжди призводять до позитивного результату (див. наприклад [4 тощо]). Тому необхідно передбачити можливість регулювання площинності на вузьких ділянках за шириною штаб на станах холодної прокатки.

Важливість такого підходу підтверджується практикою прокатного виробництва, яка показала, що локальна неплщинність холоднокатаних

штаб є бракувальною ознакою готового прокату та однією з причин утворення дефектів поверхні таких, як "штаби-лінії ковзання", "плями злипання зварювання" при обробці в лінії ковпакових печей.

Як зазначалося вище, системи автоматичного регулювання площинності штаб на сучасних станах холодної прокатки працюють, зазвичай, за принципом "замкненого" управління – за відхиленням [5]. При такому регулюванні важко усунути локальну неплщинність, яка виникає на штабі в різних міжклітинних проміжках у міру викочування локальних потовщень. Крім того, враховуючи транспортне запізнення регулювальних впливів (стресометр розташований на відстані близько 2,5 м від останньої кліті) і порівняно малі обтискання в останній кліті, а також недостатньо точну і надійну реакцію вимірювача на локальну неплщинність (зони вимірювання часто не повністю перекриваються відповідними ділянками штаби), необхідно удосконалювати відомі способи регулювання. Тому пропонується включити до САРП на стані холодної прокатки додатковий канал, що функціонує за принципом "розімкнутого" управління - за впливом [6].

Перший принцип регулювання (за відхиленням) докладно проаналізовано у роботах [1-7, та інших], тому розглянемо другий.

Суть його полягає у визначенні місця розташування локального потовщення на підкаті та подальшого регулювання за допомогою диференційованої подачі змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) на відповідну ділянку робочих валків.

Алгоритм визначення локальних потовщень на підкаті наведено нижче (рис. 1.1).

Задається граничне значення локального потовщення на підкаті $\Delta H_{зад}$, яке з максимальною ймовірністю може призвести до виникнення локальної неплщинності (блок 1).

Проводиться введення товщини гарячекатаної штаби H_i ($i=1, \dots, N -$ задане число вимірів) за її шириною (блок 2).

Усі товщини розбиваються на групи, що складаються із трьох значень, для яких знаходиться поріг порівняння \bar{H}_k (блок 4-10):

$$\bar{H}_k = \frac{1}{3} \sum_{i=m}^{m+2} H_i, \quad (1.9)$$

де $k = 1, 2, \dots, M$ – кількість ділянок штаби, котрим обчислюється поріг порівняння: $M=N/3$; $m=1, 4, 7, 10, \dots, N-2..$

Усередині кожної виділеної групи товщин обчислюється різниця між значеннями H_i та порогом порівняння \bar{H}_k (блок 13):

$$\Delta H_i = |\bar{H}_k - H_i|. \quad (1.10)$$

Далі перевіряється умова (блок 14):

$$\Delta H_i \leq \Delta H_{зд}. \quad (1.11)$$

Якщо умова (1.11) виконується, то ймовірність виникнення локальної непощинності на даній ділянці штаби мінімальна.

В іншому випадку, на i -ій ділянці ширини штаби присутнє локальне потовщення (ймовірність утворення локальної непощинності максимальна), значення індексу i запам'ятовується (блок 15.)

Розроблений алгоритм реалізовано в автоматичному пристрої, який працює наступним чином (рис. 1.2).

Сигнали з вимірювача товщини підкату по ширині 1, встановленого на вході першої кліті, надходять до арифметичного блоку 2 визначення локальних потовщень на підкаті та запам'ятовування їх розташування. Усі дискретні значення товщини підкату по ширині розбиваються на групи, що складаються з трьох значень.

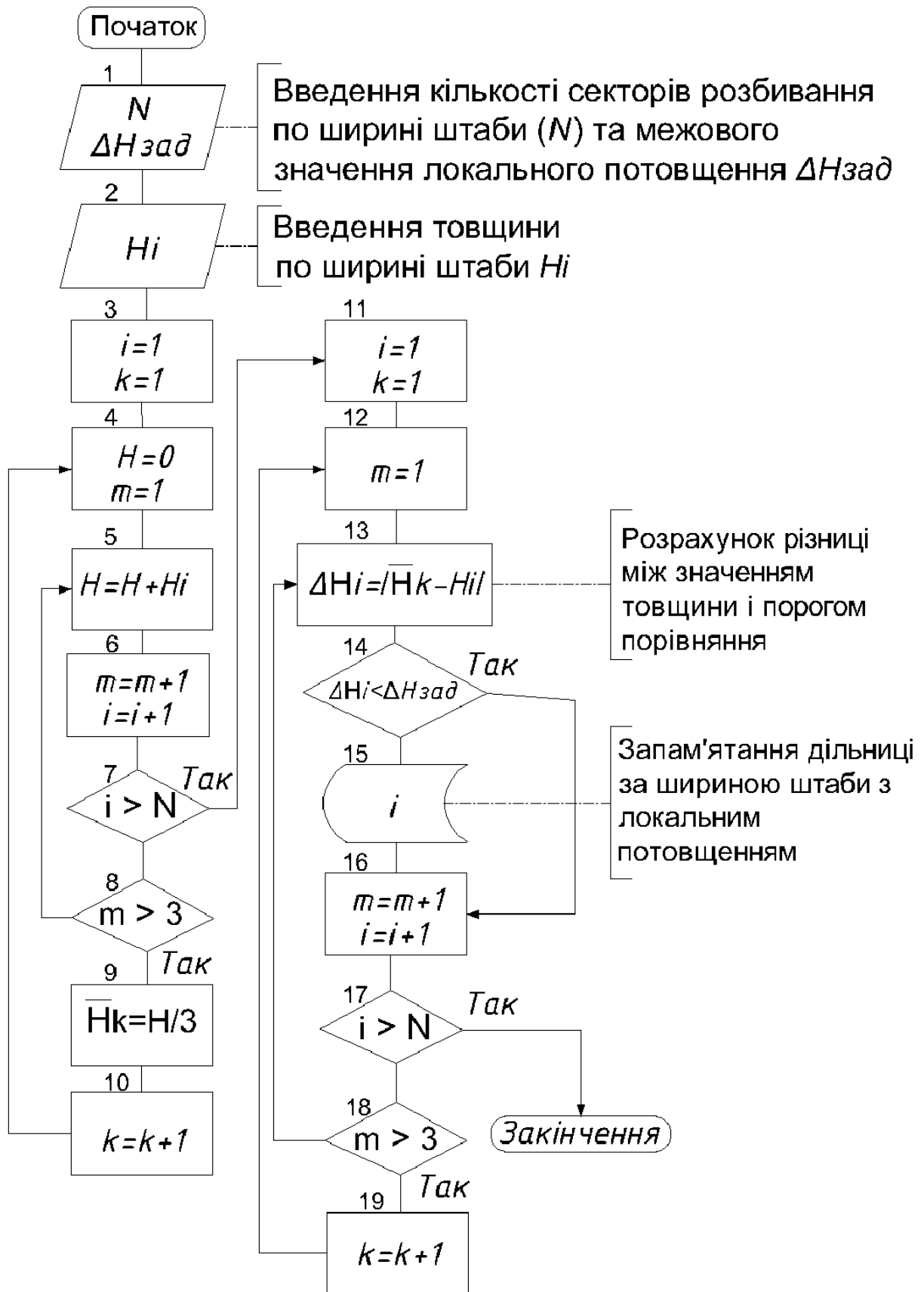


Рисунок 1.1 – Алгоритм визначення локальних потовщень на підкаті

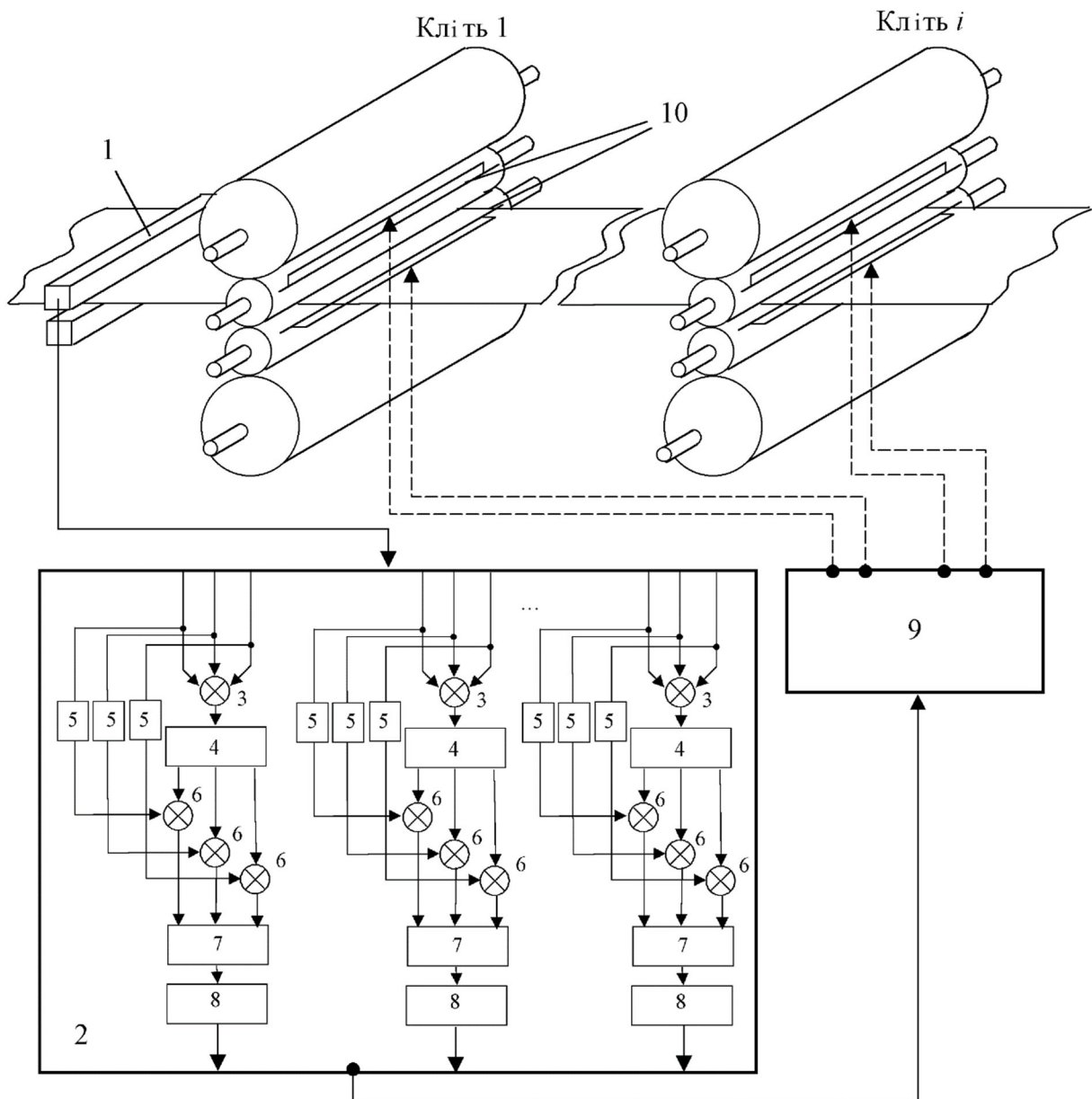


Рисунок 1.2 – Автоматичний пристрій для зниження локальної неплщинності холоднокатаних штаб: позначення в тексті

У суматорі 3 вони підсумовуються, а вихідне значення з нього у ділянку 4 ділиться на три, таким чином, знаходиться величина порога порівняння.

Інвертовані значення товщини з інверторів 5 надходять у суматори 6, де обчислюється різниця між значеннями товщини і порогом порівняння, що надходить з блоку 4.

У блоці 7 відбувається порівняння ΔH_i із заданим значенням $\Delta H_{зад}$. Якщо $\Delta H_{fi} \leq \Delta H_{зад}$, то локальне потовщення відсутнє і зміни регулювання процесу не вносяться; якщо $\Delta H_{fi} > \Delta H_{зад}$, то на i -ій ділянці ширини штаби присутнє локальне потовщення, а значення індексу i запам'ятовується в блоці 8. З цього блоку сигнал про індекс i подається в блок технологічної автоматики 9, звідки надходить сигнал у систему охолодження прокатних валків 10, в якій проводиться перерозподіл подачі охолоджуючої рідини таким чином, щоб на ділянку валків, що відповідає ділянці штаби з дефектом, подавалася максимальна кількість рідини, що охолоджує.

1.3 Регулювання площинності штаб на дресирувальному стані

Ефективність регулювання площинності штаб на дресирувальному стані залежить від правильного вибору верстатних профілювань валків та адекватного оперативного коригування регулюючих впливів (гідровигин, перекис).

Методика комбінованого регулювання площинності штаб на дресирувальному стані (у лінії ковпакових печей) включає тактичний та оперативний рівні (рис. 1.3). На тактичному рівні для окремих досить великих груп типорозмірів штаб проводиться обчислення верстатних профілювань робочих валків дресирувального стану на основі інформації про діапазон зміни полів залишкових напруг у відпалених рулонах та заданих діапазонах зміни характеристик епюр залишкових напруг в дресированих штабах. Оперативний рівень передбачає коригування значень керуючих впливів дресирувального стану у разі відхилення вимірної епюри питомих натягу у штабі на виході стану від заданої величини.

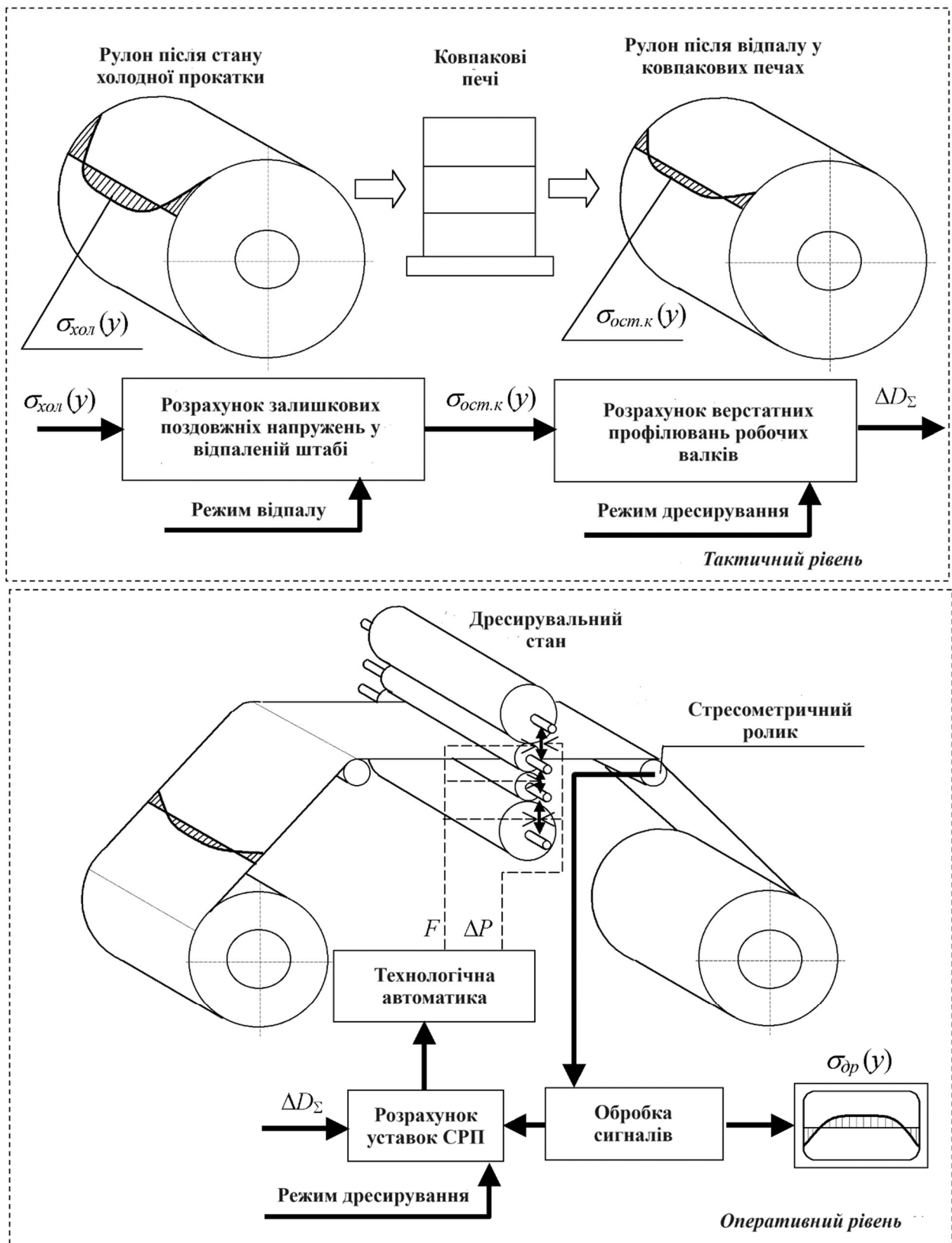


Рисунок 1.3 – Комбіноване регулювання площинності штаб на дресувальному стані (СРП – засоби регулювання площинності)

Нижче представлений алгоритм тактичного рівня.

1) Виділення групи металу (набір з N плавок, що складаються з M рулонів), що направляється на відпал у відділення ковпакових печей.

2) Вимірювання епюри питомих натягів у холоднокатаній штабі при прокатці одиниці продукції (m -го рулону з n -ї плавки) $\sigma^{n m}_{хол}(y)_{изм}$.

3) Обчислення залишкових поздовжніх напруг у відпаленій штабі $\sigma_{ост.к}(y)$ виходячи з обраного режиму відпалу в ковпакових печах та вимірної епюри питомих натягів у холоднокатаній штабі $\sigma^{n m}_{хол}(y)_{изм}$ за формулою (1.28).

4) Апроксимація епюри залишкових напруг у відпаленій штабі ортогональними поліномами Лежандра та обчислення коефіцієнтів вкладу окремих поліномів в епюру $C^{n m}_{k(\kappa)}$ (далі характеристики епюри питомих натягів) на кожен рулон.

5) Усереднення $C^{n m}_{k(\kappa)}$ по всій плавці

$$C^{m}_{k(\kappa)} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N C^{nm}_{k(\kappa)}. \quad (1.12)$$

6) Завдання характеристик епюри залишкової напруги дресированої штаби $C^{m}_{k(др)}(зад)$ на кожен плавку.

7) Вибір режиму дресування (зусилля $P^{m}_{др}$, передній натяг σ^{m}_1 , швидкість $V^{m}_{др}$) для кожної порції металу з умови отримання заданих механічних властивостей та шорсткості штаб.

8) Обчислення сумарного верстатного профілювання робочих валків дресувального стану ΔD^{m}_{Σ} для кожної плавки або кількох плавок близьких типорозмірів штаб виходячи з заданого режиму дресування, розрахованих характеристик епюри залишкових напруг у відпаленій штабі $C^{m}_{k(\kappa)}$ і заданих характеристик епюри залишкових напружень дресированої штаби $C^{m}_{k(др)}(зад)$ (перетворивши (1.30) – (1.32)):

$$\begin{aligned} \Delta D_{\Sigma}^m = & -5,8794 + 0,0544[C_{2(\partial p)}^m(\text{зад}) + C_{4(\partial p)}^m(\text{зад}) + C_{6(\partial p)}^m(\text{зад})] - \\ & - 0,0376 C_{2(\kappa)}^m - 0,0245 C_{4(\kappa)}^m - 0,0191 C_{6(\kappa)}^m - 1,6976 h + \\ & 0,0025B - \\ & - 0,0298 F_{\text{др}}^m - 0,8369 P_{\text{др}}^m + 0,0436 \sigma_{m1}^m + 0,1306 V_{\text{др}}^m, \end{aligned} \quad (1.13)$$

де h^m, B^m – товщина та ширина штаби m -ї плавки відповідно,

$F_{\text{др}}^m$ – гідровигин робочих валків дресирувального стану.

При розрахунку значення гідровигину приймається рівним нулю $F_{\text{др}}^m = 0$.

9) Усереднення ΔD_{Σ}^m по всіх плавках.

$$\Delta D_{\Sigma} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \Delta D_{\Sigma}^m. \quad (1.14)$$

10) Обчислення значень гідровигину $F_{\text{др}}^m$ для кожної плавки по усередненому ΔD_{Σ} та за заданого режиму дресування (перетворивши (1.30)- (1.32)):

$$\begin{aligned} F_{\text{др}}^m = & -197,1213 + 1,8245[C_{2(\partial p)}^m(\text{зад}) + C_{4(\partial p)}^m(\text{зад}) + C_{6(\partial p)}^m(\text{зад})] - \\ & - 1,2607 C_{2(\kappa)}^m - 0,8227 C_{4(\kappa)}^m - 0,6403 C_{6(\kappa)}^m - 56,9168 h + 0,0830B - \\ & - 33,5276 \Delta D_{\Sigma} - 28,0602 P_{\text{др}}^m + 1,4626 \sigma_{m1}^m + 4,3788 V_{\text{др}}^m. \end{aligned} \quad (1.15)$$

На оперативному рівні регулювання розподілу питомих натягів у дресированій штабі здійснюється за відхиленням. Основні принципи цього методу регулювання розглянуто у [8 – 10 та ін.], тому ми не будемо на них зупинятися.

1.4 Алгоритм управління площинністю штаб у листопрокатному цеху

При розробці алгоритмів управління враховували час проходження металу з технологічного ланцюга цеху і величину проміжків часу, протягом яких можна впливати на ті чи інші характеристики площинності різних

агрегатах цеху. Тому було виділено два рівні управління: тактичний та оперативний [11].

На тактичному рівні вирішується завдання проектування та вибору регулюючих впливів на безперервному та дресирувальному станах (для вуглецевих марок сталей) при заданих значеннях верстатних профілювань та режимів прокатки та дресирування, а також із заданих діапазонів значень вибору режимів термообробки на агрегатах неперервного відпалу (АНО) та ковпакових печах (КП) тих варіантів, які необхідні для отримання у загальному випадку заданої площинності готового прокату (зокрема, плоского). Алгоритм управління площинністю штаб на тактичному рівні представлений нижче.

1) Завдання виду та характеристик неплщинності готового прокату: A_2 та T_2 .

2) Обчислення залишкових напруг у готовій штабі:

$$\sigma^{(1)}_{ост.к} = E' \left(\frac{1}{\chi^*} \frac{A_2}{T_2} \right)^2 + \sigma_{кр}, \quad (1.16)$$

де $E' = \frac{E}{1 - \nu^2}$, E , ν – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $\nu = 0,3$;

χ^* – емпіричний коефіцієнт, що залежить від розподілу амплітуди по довжині штаби, од, $\chi^* = 0,75 - 1,20$ [3];

$$\sigma_{\epsilon\delta} = k \frac{E\pi}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{h_0}{b} \right)^2, \quad k - \text{коефіцієнт, що враховує вид}$$

неплщинності (при крайовій неплщинності $k = 50$, при некрайовій неплщинності $k = 100$);

h_2 , b_2 – товщина та ширина готової штаби, мм.

3) Вибір із заданих діапазонів значень режиму обробки в агрегатах термообробки (АТО), найбільш сприятливих для отримання заданих

механічних та електромагнітних властивостей металу (для агрегатів неперервного відпалу АНО – натяг, швидкість обробки та температури, для КП – температура та час обробки).

4) Обчислення залишкових напруг у холоднокатаній штабі $\sigma^{(1)}_{ост.о}(y)$ виходячи з $\sigma^{(1)}_{ост.к}(y)$.

При обробці в агрегатах неперервного відпалу (АНО):

якщо $\sigma^{(1)}_{ост.к}(y) < 0$, то

$$\sigma^{(1)}_{ост.о}(y) = \bar{\sigma}_н + \frac{\sigma^{(1)}_{ост.к}(y) + \bar{\sigma}_п [c - d(T_p + 273,15)(20 + \lg \frac{t_p}{60})]}{[a - b(T_n + 273,15)(20 + \lg \frac{t_n}{60})][c - d(T_p + 273,15)(20 + \lg \frac{t_p}{60})]} \quad (1.17)$$

де $\bar{\sigma}_н$, $\bar{\sigma}_п$ – середній питомий натяг штаби у секціях нагріву та рекристалізації, МПа; T_n , T_p , t_n , t_p – температура, °С та час термічної обробки, хв. у секціях нагріву та рекристалізації; a , b , c , d – емпіричні коефіцієнти, що враховують розміри штаб та марку сталі: $a = 1,6 - 2,7$; $b = (0,09 - 0,12) \cdot 10^{-3}$; $c = 1,1 - 1,8$; $d = (0,006 - 0,1) \cdot 10^{-3}$;

якщо $\sigma^{(1)}_{ост.к}(y) \geq 0$, то

$$\sigma^{(1)}_{ост.о}(y) = \frac{\sigma^{(1)}_{ост.к}(y)}{[a - b(T_n + 273,15)(20 + \lg \frac{t_n}{60})][c - d(T_p + 273,15)(20 + \lg \frac{t_p}{60})]} \quad (1.18)$$

При обробці у ковпакових печах (КП)

$$\begin{aligned} \sigma^{(1)}_{ост.о}(y) = & \sigma^{(1)}_{ост.к}(y) [a_1 - b_1(T_{e1} + 273,15)(20 + \lg t_{B1})]^{-1} \times \\ & \times [a_2 - b_2(T_{e2} + 273,15)(20 + \lg t_{e2})]^{-1} \times \\ & \times [c - d(T_{ocp} + 273,15)(20 + \lg t_o)]^{-1} - \bar{\sigma}_{хол}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

5) Апроксимація епюри залишкових напруг у холоднокатаній штабі ортогональними поліномами Лежандра та обчислення коефіцієнтів вкладу окремих поліномів в епюру $C^{(1)}_k$ (далі коефіцієнти апроксимації епюри) [12]:

$$C^{(1)}_k = f(\sigma^{(1)}_{ост.о}).$$

6) Вибір із заданих діапазонів значень режиму прокатки на n -клітинному стані (натяг на моталці, швидкість прокатки, зусилля прокатки в n -й кліті).

7) Розрахунок уставок засобів регулювання площинності (СРП) у n -й кліті (перекіс $\Delta P_{n(p)}$ та гідровигин $F_{n(p)}$ робочих валків, диференційована по довжині бочки валків подача змашувально-охолоджувальної рідини $\Delta Q_{n(p)}$) по $C^{(1)}_k$ та вибраним значенням режиму прокатки.

8) Порівняння розрахованих значень $\Delta P_{n(p)}$, $F_{n(p)}$, $\Delta Q_{n(p)}$ з їх допустимими значеннями (допустимі значення задаються, виходячи з конструкційних та технологічних особливостей відповідних систем стану).

9) Якщо розраховані значення СРП не виходять за межі допустимого діапазону, то приймається рішення про вибір даних значень регулювальних впливів і виставляються відповідні уставки (в автоматичному або ручному режимах), в іншому випадку вибираються гранично можливі значення засобів регулювання площинності (СРП) і коригуються регулюючі впливи на агрегаті термообробки (АТО) (в допустимому діапазоні).

10) Варіювання технологічних факторів в АТО здійснюється з урахуванням ступеня їх впливу на механічні та електромагнітні властивості металу в заздалегідь заданих технологічно обґрунтованих діапазонах.

При обробці штаби в агрегатах неперервного відпалу (АНО) обчислюються епюри питомих натягів:

$$\text{при } \sigma^{(2)}_{ост.о}(y) > 0$$

$$\begin{aligned} \sigma^{(2)}_{ост.к}(y) = & \{(\sigma^{(2)}_{ост.о}(y) - \bar{\sigma}_H) [a-b(T_H + 273,15)(20+lg \frac{t_H}{60})] - \sigma_B\} \times \\ & \times \{c-d(T_P + 273,15)(20+lg \frac{t_P}{60})\}, \end{aligned} \quad (1.20)$$

$$\text{при } \sigma^{(2)}_{ост.о}(y) \leq 0$$

$$\sigma^{(2)}_{ост.к}(y) = \sigma^{(2)}_{ост.о}(y) \{a-b[(T_H + 273,15)(20+lg \frac{t_H}{60})]\} \times \\ \times \{c-d(T_p + 273,15)(20+lg \frac{t_p}{60})\}. \quad (1.21)$$

При обробці штаби в агрегатах неперервного відпалу АНО в першу чергу варіюється режим натягу, що надає найменший вплив на механічні та електромагнітні властивості прокату. Потім швидкість проходження штаби через агрегат, і в останню чергу, температурний режим у різних секціях та зонах агрегату (у напрямку руху штаби: нагрівання, витримка тощо).

При обробці штаби в ковпакових печах КП епюра питомих натягів $\sigma^{(2)}_{ост.к}(y)$ обчислюється за формулою (1.28).

При обробці у КП в першу чергу варіюється час витримки, а потім температура.

11) Варіювання проводиться до виконання умови:

$$|\sigma^{(1)}_{ост.к}(y) - \sigma^{(2)}_{ост.к}(y)| \leq \Delta \quad (1.22)$$

де $\sigma^{(1)}_{ост.к}(y)$, $\sigma^{(2)}_{ост.к}(y)$ – залишкові поздовжні напруги, розраховані через A_2 і T_2 , після коригування режиму відпалу; Δ – величина помилки, що задається.

Для прокату вуглецевих марок сталі на початок алгоритму (після блоку 2) додаються такі блоки:

а) Вибір режиму обробки на ролико-правильній машині (РПМ), найбільш сприятливого для отримання заданих механічних властивостей.

б) Обчислення залишкових напруг у дресированій штабі $\sigma_{ост.др}(y)$ виходячи з $\sigma^{(1)}_{ост.к}(y)$ та вибраним значенням режиму обробки в РПМ.

в) Вибір із заданих діапазонів значень режиму обробки на стані дресування (зусилля дресування, передній натяг), найбільш сприятливого для отримання заданих механічних властивостей.

г) Розрахунок значень засобів регулювання площинності (СРП) дресувального стану (перекіс $\Delta P_{др(p)}$ та гідровигин $F_{др(p)}$ робочих валків).

д) Порівняння розрахованих $\Delta P_{др (p)}$ та $F_{др (p)}$ з їх допустимими значеннями (допустимі значення задаються виходячи з конструкційних та технологічних особливостей відповідних системам дресирувального стану).

е) Якщо розраховані значення засобів регулювання площинності (СРП) не виходять за межі допустимого діапазону, то приймається рішення про вибір даних значень засобів регулювання площинності (СРП) і виставляються відповідні уставки (в автоматичному або ручному режимах). В іншому випадку проводиться варіювання середнього питомого натягу на виході дресирувального стану (ДС) до тих пір, поки розраховані значення СРП по абсолютній величині не будуть перевищувати допустимі. Якщо неможливо підібрати значення СРП при варіюванні натягу у всьому допустимому з технологічної точки зору діапазоні, то коригуються величини верстатних профілювань робочих, а при необхідності і опорних валків дресирувального стану.

Алгоритм, призначений для оперативного рівня підсистеми, можна описати так:

1) Вимір фактичних значень характеристик неплщинності відпалених штаб $A^{(изм)}_{от}$, $T^{(изм)}_{от}$.

2) Перевірка умови

$$\frac{A^{(изм)}_{от}}{T^{(изм)}_{от}} \leq \frac{A_2}{T_2}. \quad (1.23)$$

3) Якщо умова (1.23) виконується, то режим обробки лінії агрегатів термообробки (АТО) залишається незмінним.

4) У разі невиконання умови (1.23) проводиться варіювання технологічних факторів АТО з урахуванням ступеня їх впливу на механічні та електромагнітні властивості металу у заздалегідь заданих технологічно обґрунтованих діапазонах (див. п. 10 тактичного рівня).

5) Обчислення епюри питомих натягів у відпаленій штабі при змінених значеннях технологічних факторів обробки штаби в агрегатах неперервного відпалу (АНО):

при $\sigma^{(np)}_{ocm.o}(y) > 0$

$$\begin{aligned} \sigma^{(3)}_{ocm.k}(y) = & \{(\sigma^{(np)}_{ocm.o}(y) - \bar{\sigma}'_H) [a-b(T'_H + 273,15)(20+lg \frac{t'_H}{60})] - \sigma'_B\} \times \\ & \times \{c-d[(T'_P + 273,15)(20+lg \frac{t'_P}{60})]\}, \end{aligned} \quad (1.24)$$

де $\sigma^{(np)}_{ocm.o}(y)$ – епюра питомих натягів у прокатаній штабі, виміряна стресометричним роликом на стані або отримана розрахунком за фактичними характеристиками неплщинності штаби на вході в агрегатах неперервного відпалу (АНО), МПа;

$\bar{\sigma}'_H, \bar{\sigma}'_P, T'_H, T'_P, t'_H, t'_P$ – змінені значення технологічних факторів обробки штаби в АНО;

при $\sigma^{(np)}_{ocm.o}(y) \leq 0$

$$\begin{aligned} \sigma^{(3)}_{ocm.k}(y) = & \sigma^{(np)}_{ocm.o}(y) \{a-b(T'_H + 273,15)(20+lg \frac{t'_H}{60})\} \times \\ & \times \{c-d[(T'_P + 273,15)(20+lg \frac{t'_P}{60})]\}, \end{aligned} \quad (1.25)$$

б) Варіювання факторів проводиться до виконання умови:

для електротехнічних марок сталей

$$| \sigma^{(1)}_{ocm.k}(y) - \sigma^{(3)}_{ocm.k}(y) | \leq \Delta_d, \quad (1.26)$$

для вуглецевих марок сталей

$$| \sigma^{(1)}_{ocm.k}(y) - \sigma^{(3)}_{ocm.k}(y) | \leq \Delta_y, \quad (1.27)$$

Δ_d, Δ_y – величина похибки, що задається для електротехнічних та вуглецевих марок сталей відповідно.

Для електротехнічних марок сталей обчислення завершуються, а для вуглецевих марок сталей продовжуються.

7) Вимір фактичних значень показників неплщинності дресированих штаб $A^{(\phi)}_{dp}$, $T^{(\phi)}_{dp}$.

8) Перевірка умови

$$\frac{A^{(\phi)}_{dp}}{T^{(\phi)}_{dp}} \leq \frac{A_2}{T_2}. \quad (1.28)$$

9) Якщо умова (1.28) виконується, то режим обробки штаби на дресирувальному стані залишається незмінним. В іншому випадку проводиться варіювання значення зусилля гідрозгинання валків і натягу на виході стану (в рамках граничних величин). Якщо при вибраних граничних величинах зусилля гідровигину валків і натягу умова (1.28) не виконується, то коригуються величини верстатних профілювань робочих, а при необхідності і опорних валків дресирувального стану.

Запропоновані алгоритми дозволять визначати коригувальні впливи на кожному агрегаті цеху для отримання готових штаб із заданою площинністю.

2 РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЛІНІЇ ПРОКАТНОЇ КЛІТІ

У даному розділі розглянута головна лінія листопрокатної кліті широкоштабового стану, що включає власне чотиривалкову кліть і її привід від двоякорних електродвигунів постійного струму з двозонним регулюванням швидкості. Кліть холодної прокатки обертається від двох електродвигунів через зубчасті муфти, одна з яких з проміжним валом, здвоєний редуктор і зубчасті шпинделі. Привід кліті гарячої прокатки безредукторний від одного електродвигуна через зубчасту муфту, шестеренну кліть і універсальні шпинделі. При необхідності можна спроектувати кліть з індивідуальним приводом валків, які застосовують у товстолистових станах.

Алгоритм розрахунку ілюстрований прикладом лінії кліті холодної прокатки. Для лінії кліті гарячої прокатки результати розрахунку за формулами, що збігаються, дані без підстановок у круглих дужках, а приблизні розрахунки показані тільки для специфічного обладнання або розрахункових формул. Алгоритм містить близько 400 параметрів, позначених ідентифікаторами у вигляді літер і букв з індексами.

У Додатку лінійні розміри у формулах для розрахунку розмірів скрізь виражені в мм, а для розрахунку всіх інших параметрів – у м. Одиниці виміру інших фізичних величин вказані при їх введенні або розрахунку. Пам'ятається, що $1 \text{ МПа} = 1 \text{ Н/мм}^2 = 1 \text{ МН/м}^2$, $1 \text{ т} \cdot \text{м}^2 = 1 \text{ кНм} \cdot \text{с}^2$.

При обчисленнях слід використовувати загальноприйняті правила округлення числових значень параметрів, але для мінімізації помилки при машинному контролі результатів також і спеціальні, у тому числі такі:

- 1) до найближчого меншого цілого числа, кратного 5 мм;
- 2) до найближчого більшого цілого числа, кратного 5 мм;
- 3) до найближчого цілого числа, кратного 5 мм;

4) до найближчого меншого цілого числа, кратного 10 мм;

5) до найближчого більшого цілого числа, кратного 10 мм.

Також можуть бути прийняті будь-які інші компоновання та типи обладнання, наприклад, індивідуальний безредукторний привід валків, редуктор перед шестеренною кліттю або зубчасті шпинделі в лінії кліті гарячої прокатки, включаючи валові, що допускають осьову зсувку. Якщо при цьому навантаження перевищать допускаються найбільшими з підшипників, шпинделів, шестеренних клітей або муфт, представлених в таблицях нижче, параметри вузлів, здатних протистояти таким навантаженням, в першому наближенні можуть бути оцінені шляхом екстраполяції табличних даних

2.1 Основні параметри і розміри

1. У розділі розглядаються лінії клітей холодної та гарячої прокатки з робочими валками номінальним діаметром $D = 610$ мм при довжині бочки $L = 1450$ мм.

2. Номінальний діаметр опорного валка

$$D_o = k_1 \sqrt{D} = 63 \sqrt{610} = 1556 \text{ мм}, \quad (2.1)$$

де значення коефіцієнта k_1 беруть із табл. А2. Для кліті холодної прокатки

$$k_1 = E(0,06D + 27) = E(0,06 \cdot 610 + 27) = E(63,6) = 63,$$

де, як завжди, $E(x)$ – ціла частина аргументу x . Остаточний діаметр опорного валка вибирають наступним великим від отриманого розрахунком з параметричного ряду ДСТУ 5399 – 69, тобто $= 1600$ мм. Довжина бочки опорного валка $L = 1450$ мм.

Для кліті гарячої прокатки $k_1 = 54$, $D_o = 54 \sqrt{610} = 1333$ мм і слід було б прийняти опорні валки діаметром 1400 мм, але для зіставлення з

результатами розрахунку кліті холодної прокатки зроблені винятки: як і для кліті холодної прокатки прийнятий діаметр $D_o = 1600$ мм при довжині бочки $L = 1450$ мм, хід верхнього валка $H = 40$ мм.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти для формування вихідних даних

Призначення стана	k_1	k_2	k_3	k_4
Холодна прокатка	$E(0,06D + 27)$	1	0,4	1,2
Гаряча прокатка	54	2	2,0	1,5

Коефіцієнт k_1 уже використано для визначення діаметра опорного валка за формулою (2.1), коефіцієнт k_2 зустрічається у формулах (2.3), (2.5) і (2.8), k_3 – також у формулі (2.8), k_4 - у формулі (2.23).

3. Мінімальні діаметри валків після перешліфовок

$$\begin{aligned} D_1 &= (1 - k)D = (1 - 0,08) \cdot 610 = 561 \Rightarrow^1 560, \\ D_2 &= (1 - k_o)D_o = (1 - 0,05) \cdot 1600 = 1520 \Rightarrow^1 1520 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $k = 0,08$ і $k_o = 0,05$ – прийняті коефіцієнти зменшення діаметрів робочих і опорних валків під час перешліфування.

4. Міцнісні та пружні характеристики валків беруться з табл. 2.2.

Тут E і G – модулі пружності першого і другого роду,

HSD – твердість бочки валка за Шором,

$[\sigma]$, $[\tau]$ і $[\sigma_k]$ – допустимі напруження вигину, кручення і контактні.

Таблиця 2.2 - Характеристики валків

Призначення валків	Матеріал	E , МПа	G , кПа	HSD	$[\sigma]$	$[\tau]$	$[\sigma_k]$
					МПа		
Робочі гарячої прокатки	Чавун легований	$1,75 \cdot 10^5$	$0,66 \cdot 10^8$	75	90	72	3400
Робочі холодної прокатки	Сталь	$2,10 \cdot 10^5$	$0,79 \cdot 10^8$	90	140	80	5300
Опорні	Сталь	$2,10 \cdot 10^5$	$0,79 \cdot 10^8$	60	120	–	2200

Допустимі напруження вигину, загалом, відповідають рекомендаціям, наведеним нижче.

Допустимі напруження вигину для валків із різних матеріалів для п'ятикратного запасу міцності за А.А. Корольовим слід приймати такими, МПа:

леговані ковани валки холодної прокатки	120 – 130
ковані валки з вуглецевої сталі	100 – 120
валки зі сталевого вуглецевого лиття	70 – 80
чавунні валки	140 – 150

Це лише незначно змінені й доповнені дані А.І. Целікова. В прикладі А.А. Корольов дає розрахунок валків із високоміцного чавуну з межею міцності на розтягування 500 МПа, для яких допустимі напруги вигину за того самого запасу міцності мають бути не менше 100 МПа. Нові технології дають змогу виготовляти валки з високохромистого чавуну з межею міцності на вигин до 1200 МПа, зі швидкорізальних сталей – до 1320 МПа, а з валкової сталі 11М5Ф та її модифікацій – до 3800-4000 МПа. Характеристики міцності двошарових валків мають ще більші значення.

5. Щільність матеріалу сталевих кованих робочих і опорних валків, а також інших виготовлених із прокату і кованих деталей $\rho_1 = 7,8$, чавунних робочих валків $\rho_2 = 7,2$, сталевих литих і деяких інших деталей $\rho_3 = 7,6$, бронзових напрямних на стійках станини $\rho_4 = 8,6$ т/м³.

6. Максимальний підйом верхнього валка

$$H = 0,05 k_2 D = 0,05 \cdot 1 \cdot 610 = 30,5 = 40 \text{ мм.} \quad (2.3)$$

7. Найбільші розміри сполучених із робочим валком деталей – подушок і головок шпинделів - не повинні перевищувати його мінімального діаметра. Висоту подушки знаходять за формулою

$$H_1 = D_1 - 10 = 560 - 10 = 550 \text{ мм,} \quad (2.4)$$

типорозмір і діаметр D_3 головки зубчастого шпинделя підбирають за табл. 2.1, а універсального – за табл. 2.2. Для приводу кліті холодної прокатки зараз треба прийняти зубчасті шпинделі ШЗ 7, у яких діаметр головки $D_3 = 470$ мм, а гарячої – універсальні шпинделі з головкою діаметром $D_3 = 530$ мм. Допустимі напруження кручення в шпинделях і валах $[\tau] = 70 - 80$ МПа.

2.2 Виробнича програма та режими роботи кліті.

Розрахункові навантаження

1 Термін служби кліті з приводом = 20 років.

2. Річний обсяг виробництва

$$\begin{aligned} A_0 &= 2 \cdot 10^5 k_2 (N_0 - E(N_0/10) \cdot 10 + 1) = \\ &= 2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot (100 - E(100/10) \cdot 10 + 1) = 2 \cdot 10^5 \text{ т.} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Тут коефіцієнт k_2 беруть із табл. 2.1, а річна кількість металу, що прокатується в кліті, пов'язується з останньою цифрою номера варіанта. Для примірного розрахунку як кліті холодної, так і гарячої прокатки у відступ від результату, що отримується за цією формулою, прийнято десятикратний обсяг виробництва $A_0 = 2 \times 10^6$ т.

3. У виробничій програмі кліті, що проектується, три розрахункових профілі $i = 1, 2, 3$ з відносною масою $g_b = 20$ т/м, частки яких у сортаменті

$$\begin{aligned} a_1 &= 0,2, & a_2 &= 0,2 + No / 200 = 0,2 + 100/200 = 0,7, \\ a_3 &= 0,6 - No / 200 = 0,6 - 100/200 = 0,1. \end{aligned} \quad (2.6)$$

4. Річний випуск кожного з профілей

$$\begin{aligned} A_i &= a_i A_0. & A_1 &= 0,2 \cdot 2 \cdot 10^6 = 400000, \\ A_2 &= 0,7 \cdot 2 \cdot 10^6 = 1400000, & A_3 &= 0,1 \cdot 2 \cdot 10^6 = 200000 \text{ т.} \end{aligned} \quad (2.7)$$

5. Товщина штаб розрахункових профілей

$$\begin{aligned} h_{n3} &= k_2 No / 200 + k_3 = 1 \cdot 100 / 200 + 0,4 = 0,90, \\ h_{n2} &= 1,6 h_{n3} = 1,6 \cdot 0,90 = 1,44, & h_{n1} &= 3 h_{n3} = 3 \cdot 0,90 = 2,70 \text{ мм,} \end{aligned} \quad (2.8)$$

де коефіцієнти k_2 та k_3 тут слід приймати за табл. 2.1 причому для зразкового розрахунку – як холодної прокатки.

6. Ширина штаб

$$\begin{aligned} b_{n1} &= L - 150 = 1450 - 150 = 1300, \\ b_{n2} &= 0,9 b_{n1} = 0,9 \cdot 1300 = 1170, & b_{n3} &= 0,8 b_{n1} = 0,8 \cdot 1300 = 1040 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.9)$$

7. Число штаб кожного виду та сумарна кількість, що прокочується в кліті за термін служби, та частки штаб кожного виду в загальній кількості

$$\begin{aligned} Z_i &= \frac{A_i T_{cl}}{g_b b_{ni}}. & Z_1 &= \frac{400000 \cdot 20}{20 \cdot 1,30} = 307692, \\ Z_2 &= \frac{1400000 \cdot 20}{20 \cdot 1,17} = 1196581, & Z_3 &= \frac{200000 \cdot 20}{20 \cdot 1,04} = 192308, \\ Z_0 &= 307962 + 1196581 + 192308 = 1696581, \\ a_{z1} &= \frac{307692}{1696581} = 0,1814, & a_{z2} &= \frac{1196581}{1696581} = 0,7053, & a_{z3} &= \frac{192308}{1696581} = 0,1133. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Абсциси ділянок циклограми рис. 2.1 $a_{z1} = 0,18$ и $a_{z1} + a_{z2} = 0,89$.

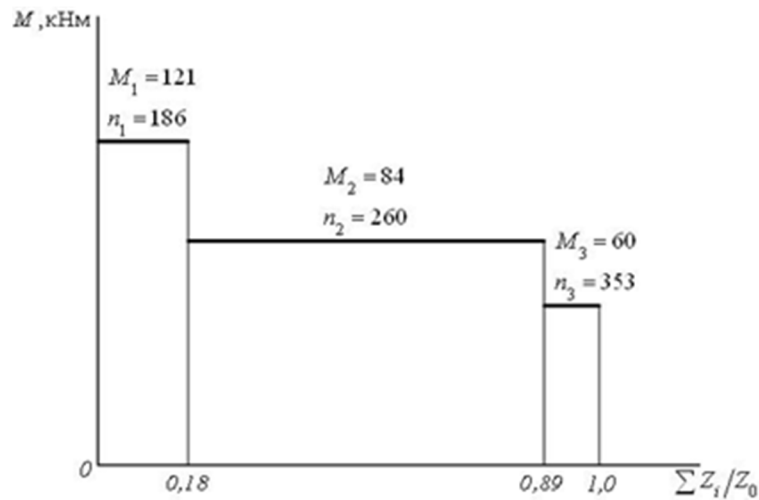


Рисунок 2.1 – Циклограма навантаження лінії привода валка

8. Крутний момент на приводному кінці одного найбільш навантаженого робочого валка при прокатуванні розрахункових профілів

$$M_1 = E(225LD^2) = E(225 \cdot 1,45 \cdot 0,61^2) = E(121,4) = 121, \quad (2.11)$$

$$M_2 = (0,7M_1) = E(0,7 \cdot 121) = 84, \quad M_3 = E(0,5M_1) = E(0,5 \cdot 121) = 60 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

9. Частоти обертання робочих валків при прокатці розрахункових штаб n_i та їх заправці n_0

$$n_1 = E\left(\frac{50(L - 0,2)(1 + D)}{LD^2}\right) = E\left(\frac{50(1,45 - 0,2)(1 + 0,61)}{1,45 \cdot 0,61^2}\right) = E \cdot (186,5) = 186, \quad (2.12)$$

$$n_2 = E(1,4n_1) = E \cdot (1,4 \cdot 186) = 260, \quad n_3 = E(1,9n_1) = E \cdot (1,9 \cdot 186) = 353,$$

$$n_0 = E(0,4n_1) = E \cdot (0,4 \cdot 186) = 74 \text{ об/хвил.}$$

10. Лінійна швидкість валків номінального діаметра при прокатуванні розрахункових профілів

$$v_i = \pi D n_i / 60. \quad v_1 = \pi \cdot 0,61 \cdot 186 / 60 = 5,94, \quad (2.13)$$

$$v_2 = \pi \cdot 0,61 \cdot 260 / 60 = 8,30, \quad v_3 = \pi \cdot 0,61 \cdot 353 / 60 = 11,27 \text{ м/с}.$$

11. Номінальна частота обертання двигунів та передатне число редуктора.

Номинальну частоту обертання двигунів вибирають з параметричного ряду ДСТУ 10683 – 73, згідно з наступним алгоритмом. Знаходять відношення u_1 (наступної більшої частоти з параметричного ряду до частоти n_1) та u_2 (частоти n_1 до попередньої меншої). Якщо $u_1 < u_2$, в якості номінальної приймають наступну велику частоту з параметричного ряду, інакше попередню меншу:

$$u_1 = 200/186 = 1,0753, \quad u_2 = 186/150 = 1,2400, \quad (2.14)$$

і оскільки $u_1 < u_2$, то $\bar{n} > 186 \Rightarrow 200$ об/хвил,

Передатне число редуктора в лінії холодної прокатки

$$u = \bar{n} / n_1 = 200/186 = 1,0753,$$

але якщо за розрахунком буде отримано, що $u < 1$, це буде говорити про необхідність установки в лінії кліті не редуктора, а мультиплікатора [13].

У лінії кліті гарячої прокатки редуктора немає, у шестеренній кліті $u = 1$.

12. Оцінка показника швидкості у першій зоні регулювання

$$\xi_i = 1, \text{ але якщо } n_i u / \bar{n} < 1, \text{ то } \xi_i = n_i u / \bar{n}. \quad (2.15)$$

Скрізь $\xi_i = 1$, крім $\xi_1 = 186 \cdot 1,0 / 200 = 0,930$ у кліті гарячої прокатки прокатки.

13. Розрахункове зусилля, що діє на деталі і вузли у вікні однієї станини, як напівсума зусиль прокатки і протизгинання робочих валків

$$Y_0 = 5,6D_o^2 = 5,6 \cdot 1,6^2 = 14,34 \text{ МН}. \quad (2.16)$$

14. Зусилля противигину, що діє на одну шийку робочого валка

$$Y_1 = 0,05DY_0 = 0,05 \cdot 0,61 \cdot 14,34 = 0,44 \text{ МН}. \quad (2.17)$$

2.3 Картина частот обертання валів, крутних моментів та потужностей у кінематичній лінії кліті

Як показано раніше, частоти обертання валів у кінематичній лінії машини змінюються у зв'язку з перетворенням у редукторах та (або) регулюванням у двигунах, потужності – у зв'язку зі втратами, а крутні моменти – як у зв'язку зі зміною частоти, і з втратами потужності. Досліджуємо рівень цих параметрів на різних валах, а саме, на приводних кінцях валків ($j = 1$), на вихідних ($j = 2$) та вхідних ($j = 3$) валах редуктора або шестеренної кліті та на валу двигуна ($j = 4$).

1. Частоти обертання валів у лініях клітей холодної та гарячої прокатки

$$n_{ij} = n_i u_j. \quad n_{11} = n_{12} = 186 \cdot 1 = 186, \quad n_{13} = n_{14} = 186 \cdot 1,0753 = 200, \quad (2.18)$$

$$\text{і } n_{11} = n_{12} = n_{13} = n_{14} = 186 \cdot 1 = 186 \text{ об/хвил.}$$

2. Коефіцієнти корисної дії для обліку втрат у валках $\eta_1 = 1$, шпинделях $\eta_2 = 0,97$, редукторі або шестеренній кліті $\eta_3 = 0,94$, зубчастих муфтах $\eta_4 = 0,98$.

3. Крутний момент у лінії приводу *одного* валка

$$M_{i1} = M_i, \quad M_{11} = M_1 = 121,0,$$

але далі у лінії кліті холодної прокатки

$$M_{ij} = \frac{M_{i,j-1} n_{i,j-1}}{\eta_j n_{ij}}, \quad M_{12} = \frac{121 \cdot 186}{0,97 \cdot 186} = 124,7, \quad (2.19)$$

$$M_{13} = \frac{124,7 \cdot 186}{0,94 \cdot 200} = 123,4, \quad M_{14} = \frac{123,4 \cdot 200}{0,98 \cdot 200} = 125,9 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

у кліті гарячої прокатки $M_{ij} = M_{i,j-1} / \eta_j, \quad M_{12} = 121 / 0,97 = 124,7,$

$$M_{13} = 124,7 / 0,94 = 132,7, \quad M_{14} = 132,7 / 0,98 = 135,4 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Крутний момент для приводу *обох* валків $M_{0ij} = 2M_{ij}$.

4. Повна сумарна потужність у лініях приводу *обох* валків

$$N_{ij} = M_{0ij} \frac{\pi n_{ij}}{30}. \quad N_{11} = 242,0 \frac{\pi \cdot 186}{30} = 4714,$$

$$N_{12} = 249,5 \frac{\pi \cdot 186}{30} = 4859, \quad N_{13} = 246,8 \frac{\pi \cdot 200}{30} = 5170 \text{ кВт}, \quad (2.20)$$

і в лінії кліті гарячої прокатки $N_{13} = 265,4 \frac{\pi \cdot 186}{30} = 5170$ кВт тощо.

Результати розрахунку для всіх режимів і валів в лініях клітей холодної і гарячої прокатки зведені в табл. 2.3 [14]. Виділені курсивом моменти у лінії кліті гарячої прокатки не існують, але реальне навантаження відповідних валів представляє їх сума M_0 .

Таблиця 2.3 – Зміна параметрів у кінематичних лініях клітей

<i>j</i>	η	<i>i</i> =1				<i>i</i> =2				<i>i</i> =3			
		<i>n</i>	<i>M</i>	<i>M</i> ₀	<i>N</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>M</i> ₀	<i>N</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>M</i> ₀	<i>N</i>
Лінія кліті холодної прокатки													
1	1,00	186,0	121,0	242,0	4714	260,0	84,0	168,0	4574	353,0	60,0	120,0	4436
2	0,97	186,0	124,7	249,5	4859	260,0	86,6	173,2	4716	353,0	61,9	123,7	4573
3	0,94	200,0	123,4	246,8	5170	279,6	85,7	171,4	5017	379,6	61,2	122,4	4865
4	0,98	200,0	125,9	251,9	5275	279,6	87,4	174,9	5119	379,6	62,4	124,9	4964
Лінія кліті гарячої прокатки													
1	1,00	186,0	121,0	242,0	4714	260,0	84,0	168,0	4574	353,0	60,0	120,0	4436
2	0,97	186,0	124,7	249,5	4859	260,0	86,6	173,2	4716	353,0	61,9	123,7	4573
3	0,94	186,0	<i>132,7</i>	265,4	5170	260,0	<i>92,1</i>	184,3	5017	353,0	<i>65,8</i>	131,6	4865
4	0,98	186,0	<i>135,4</i>	270,8	5275	260,0	<i>94,0</i>	188,0	5119	353,0	<i>67,1</i>	134,3	4964

5. Номінальна потужність двигунів

Загальна кількість якорів електродвигунів у лінії кліті холодної прокатки $z_{я} = 2 \times 2 = 4$, гарячої $z_{я} = 1 \times 2 = 2$. Сумарна номінальна потужність усіх якорів згідно з умовою (2.27) повинна перевищувати найбільшу з необхідних потужностей прокатки будь-якого профілю, в даному випадку першого. Тоді оцінками номінальної потужності кожного якоря в лінії клітей холодної та гарячої прокатки стануть при $i = 1$ значення

$$\bar{N} \geq \frac{N_{14}}{z_{я}\xi_1} = \frac{5275}{4 \cdot 1} = 1319, \quad \bar{N} \geq \frac{N_{14}}{z_{я}\xi_1} = \frac{5275}{2 \cdot 0,93} = 2836 \text{ кВт.} \quad (2.21)$$

Номінальна потужність кожного якоря повинна бути наступною більшою з параметричного ряду за ДСТУ 12139 – 84, наведеного після формули (2.27), тоді як номінальну потужність дворухового приводу кліті холодної прокатки треба прийняти $\bar{N} = 2 \times 2 \times 1400$, а однорухового приводу кліті гарячої прокатки $\bar{N} = 2 \times 3150$ кВт [15].

3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНОЇ КЛІТИ

Прокатна кліть містить:

1. Вузол валків у складі робочих та опорних валків з подушками. Підшипники робочих валків чотирирядні з конічними роликами, опорних валків - рідинного тертя двох варіантів: з упорним вузлом кочення з боку обслуговування і без упорного вузла з боку приводу. Подушки робочих валків, як у касетах, розташовуються в П-подібних подушках опорних валків.

2. Гідравлічні пристрої для установки валків: натискного, для врівноважування верхнього опорного валка, для врівноважування і протизгинання робочих валків і для установки лінії прокатки при зміні діаметрів валків, хоча в якості альтернативи останньому розглядається також електромеханічний клиновий пристрій [16].

Гідравлічні циліндри натискного пристрою розташовані над подушками верхнього опорного валка, а пристрої для встановлення лінії прокатки – під подушками нижнього. Після установки лінії прокатки тиск у її гідроциліндрах скидають, а навантаження передають на спеціальні підкладки, до яких при проектуванні фундаменту кліті повинен бути забезпечений доступ. Гідравлічні циліндри врівноважування та протизгинання робочих валків розташовані в подушках нижніх робочих валків, а врівноважування опорних – у подушках нижніх опорних валків.

3. Вузол станин у складі власне станин, сполучного короба, розпірних шпильок і плитовин.

Розробка електромеханічних натискних пристроїв замість або на додаток до гідравлічних, месдоз, пристроїв для додаткового вигину та осьового зсуву робочих валків, для розпору між робочими і опорними валками, для зміни робочих і опорних валків не передбачена.

3.1 Вузол валків

3.1.1 Вузол робочого валка

1. Підбір підшипника

Оцінка зовнішнього діаметра підшипника

$$D_4 \leq H_1 - 0,05D = 550 - 0,05 \cdot 610 = 519,5 \text{ мм.} \quad (3.1)$$

Дотримуючись цієї оцінки, за табл. 3.1 підбирають чотирирядний радіально-упорний підшипник з конічними роликами № 332059. Його габаритні розміри

$$D_4 = 510, d_1 = 360, B_2 = 380 \text{ мм.}$$

Еквівалентне динамічне навантаження, розраховане в припущенні, що швидкість прокатки максимальна, на підшипник завжди діє найбільше зусилля протизгинання робочих валків і осьові сили відсутні, а також 90-відсотковий ресурс підшипника, що відповідає такому навантаженню

$$Y_2 = k_T k_\sigma k_4 Y_1 = 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 0,44 = 0,99 \text{ (1,23) МН,}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 n_3} \left(\frac{C}{Y_2} \right)^{3,33} = \frac{10^6}{60 \cdot 353} \left(\frac{4,80}{0,99} \right)^{10/3} = 9100 \text{ (4400) год.} \quad (3.2)$$

де $k_T = 1,1$ – поправка на температуру в підшипнику, прийняту рівною 150°C ,

$k_\sigma = 2,0$ – коефіцієнт безпеки,

k_4 – коефіцієнт динамічності із табл. 2.1,

C – коефіцієнт динамічної вантажопідйомності (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Підшипники для робочих валків. Габаритні розміри та основні розрахункові параметри

№	d_1	D_4	B_2	C , МН
330899А	198,438	284,162	225,425	1,72
331156	220,662	314,325	239,712	2,05
330758А	304,902	412,648	266,700	2,86
331664	330,302	438,023	254,000	2,46
330661С	343,052	457,098	254,000	2,64
330662А	355,600	482,600	269,875	3,03
332059	360,000	510,000	380,000	4,80
331159А	368,300	523,875	382,588	5,50
331333	409,575	546,100	334,962	4,46
331192А	430,000	570,000	336,000	4,29
332096	482,600	615,950	330,200	4,84
331157А	514,350	673,100	422,275	6,82
331978	540,000	690,000	400,000	6,60
331189	584,200	730,250	349,250	5,23
331175А	609,600	787,400	361,950	6,93
331190	660,400	812,800	365,125	6,27
331351	710,000	900,000	410,000	8,25

2. Ширина подушки

$$B_1 = 1,75H_1 = 1,75 \cdot 550 = 962,5 \Rightarrow^4 960 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

3. Розміри шийки, кінця валка та підшипникового вузла (рис. 3.1)

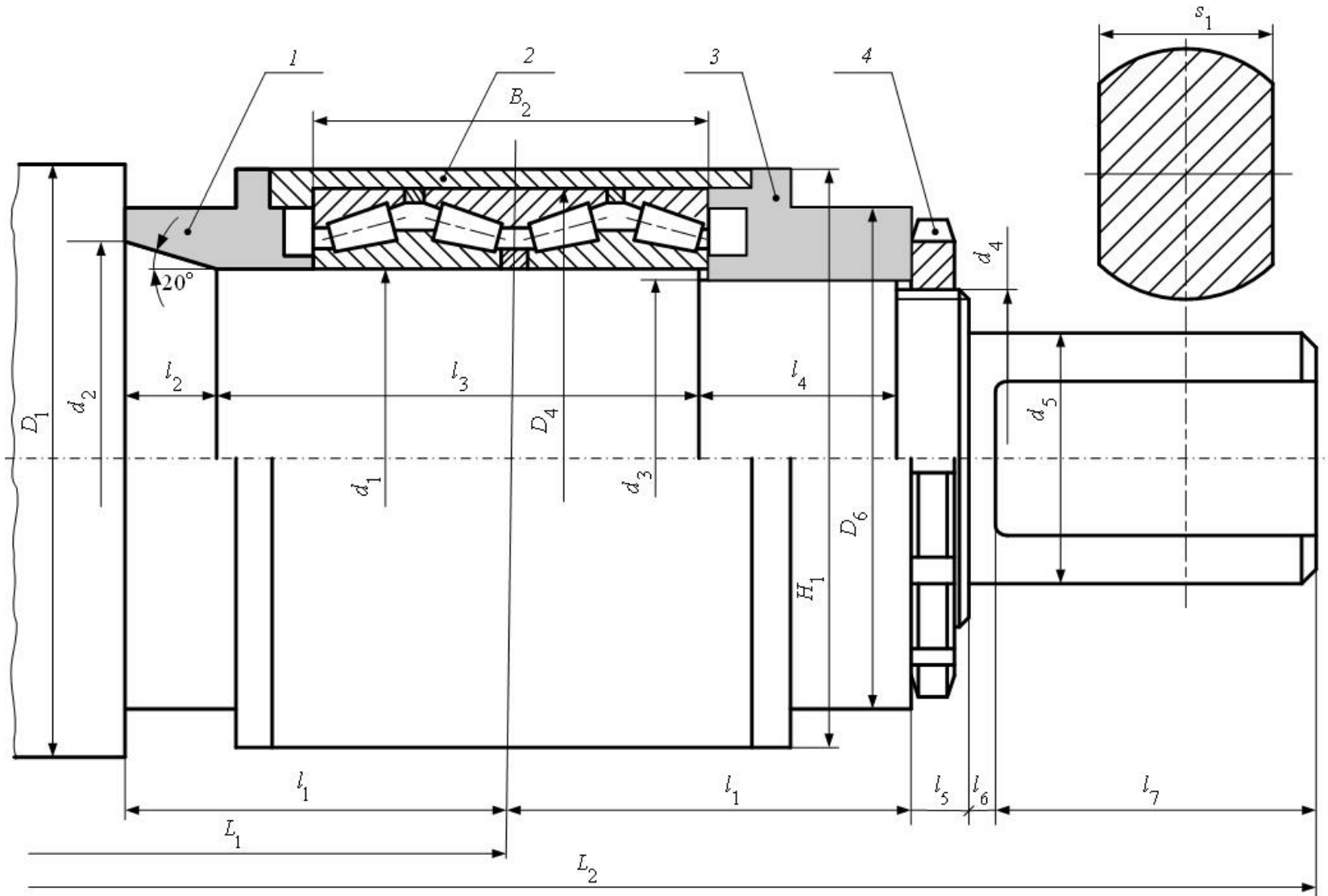


Рисунок 3.1 – Узел рабочего валка з подушкою

$$\begin{aligned}
l_1 = B_2 = 380 \Rightarrow^3 380, \quad l_2 = E(l_1 - 3B_2/4) = E(380 - 3 \cdot 380/4) = 95, \\
l_3 = E(l_2 + B_2 - 5) = E(95 + 380 - 5) = 470, \\
l_4 = 2l_1 - l_2 - l_3 = 2 \cdot 380 - 95 - 470 = 195, \\
l_5 = 0,65l_2 = 0,65 \cdot 95 = 61,8 \Rightarrow^3 60, \text{ мм.} \\
D_4 = 510, \quad d_1 = 360, \quad d_2 = d_1 + 2l_2 \operatorname{tg} 15^\circ = 360 + 2 \cdot 95 \cdot 0,2679 = 411, \\
d_3 = d_1 - 10 = 360 - 10 = 350 \Rightarrow^3 350, \quad d_4 = 0,9d_1 = 0,9 \cdot 360 = 324 \Rightarrow^3 325, \quad (3.4) \\
d_5 = 240 (300), \quad s_1 = 200 (240), \\
l_6 = l_{23} - 10 = 80 - 10 = 70 (80), \quad l_7 = 330 (380), \\
L_1 = L + 2l_1 = 1450 + 2 \cdot 380 = 2210, \\
L_2 = L + 2(2l_1 + l_5 + l_6 + l_7) = 1450 + 2 \cdot (2 \cdot 380 + 60 + 70 + 330) = 3890 (4010), \\
D_5 = 1,07H_1 = 1,07 \cdot 550 = 589 \Rightarrow^3 590 \text{ (рис. А7),} \\
D_6 = 0,9D_4 = 0,9 \cdot 510 = 459 \Rightarrow^3 460 \text{ мм.}
\end{aligned}$$

Розміри d_5 , s_1 , l_{23} и l_7 взяті для сталевого валка з табл. 3.2, а чавунного (у дужках) – з табл. 3.1. Інші необхідні для виконання вузла розміри призначені конструктивно. Крім валка та підшипника на рис. 3.1 видно:

1, 3 – вузли кришок і ущільнень, які конструктивно не опрацьовані; до складу вузла 3 входить кришка діаметром D_5 зі зрізом заввишки D_6 ,

2 – подушка,

4 – гайка.

4. Маса, момент інерції та крутильна податливість одного валка

$$\begin{aligned}
G_1 = \frac{\pi \rho_1}{4} \left[LD^2 + 2 \left[\frac{d_2^3 - d_1^3}{6 \operatorname{tg} 15^\circ} + l_3 d_1^2 + l_4 d_3^2 + l_5 d_4^2 + (l_6 + l_7) d_5^2 \right] \right] = \\
= \frac{\pi \cdot 7,8}{4} \left[1,45 \cdot 0,61^2 + 2 \cdot \left[\frac{0,411^3 - 0,36^3}{6 \cdot 0,2679} + 0,47 \cdot 0,36^2 + 0,195 \cdot 0,35^2 + \right. \right. \\
\left. \left. \right] \right] \quad (3.5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 0,06 \cdot 0,325^2 + (0,07 + 0,33) \cdot 0,24^2 \Big] = 4,88 \text{ (4,71) т,} \\
J_1 &= \frac{\pi \rho_1}{32} \left[LD^4 + 2 \left[\frac{d_2^5 - d_1^5}{10 \operatorname{tg} 15^\circ} + l_3 d_1^4 + l_4 d_3^4 + l_5 d_4^4 + l_6 d_5^4 \right] \right] = \\
&= \frac{\pi \cdot 7,8}{32} \left[1,45 \cdot 0,61^4 + 2 \cdot \left[\frac{0,411^5 - 0,36^5}{10 \cdot 0,2679} + 0,47 \cdot 0,36^4 + 0,195 \cdot 0,35^4 + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + 0,06 \cdot 0,325^4 + 0,07 \cdot 0,24^4 \right] \right] = 0,1749 \text{ (0,1621) тм}^2, \\
e_1 &= \frac{32}{\pi G} \left[\frac{L}{D^4} + 2 \left[\left(\frac{d_2 - d_1}{2 \operatorname{tg} 15^\circ} \right)^2 \middle/ \left(\frac{d_2^5 - d_1^5}{10 \operatorname{tg} 15^\circ} \right) + \frac{l_3}{d_1^4} + \frac{l_4}{d_3^4} + \frac{l_5}{d_4^4} + \frac{l_6}{d_5^4} \right] \right] = \\
&= \frac{32}{\pi \cdot 0,79 \cdot 10^8} \left[\frac{1,45}{0,61^4} + 2 \cdot \left[\left(\frac{0,411 - 0,36}{2 \cdot 0,2679} \right)^2 \middle/ \left(\frac{0,411^5 - 0,36^5}{10 \cdot 0,2679} \right) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \frac{0,47}{0,36^4} + \frac{0,195}{0,35^4} + \frac{0,06}{0,325^4} + \frac{0,07}{0,24^4} \right] \right] = 1,9845 \cdot 10^{-5} \text{ (2,0290} \cdot 10^{-5}) \text{ кНм}^{-1}.
\end{aligned}$$

Момент інерції та податливість валка тут підраховані без урахування приводних кінців довжиною, а маса – з їх врахуванням [17].

5. Маса однієї подушки при середній щільності заповнення її об'єму = $\rho_5 = 6 \text{ т/м}^3$ та вузла одного робочого валка

$$\begin{aligned}
G_2 &= 2 \rho_5 l_1 (H_1 B_1 - \pi d_1^2 / 4) = 2 \cdot 6,0 \cdot 0,38 \cdot (0,55 \cdot 0,96 - \pi \cdot 0,36^2 / 4) = 1,94, \\
G_3 &= G_1 + 2G_2 = 4,88 + 2 \cdot 1,94 = 8,76 \text{ (8,60) т.}
\end{aligned} \tag{3.6}$$

3.1.2. Вузол опорного валка

1. Підбір підшипника рідинного тертя (ПРТ) за розмірами та здатністю навантаження

Діаметр ПРТ приймають за табл. 3.2 максимально можливим так, щоб розмір подушки (рис. 3.2) не перевищував мінімального радіуса валка:

$$H_2 \leq D_2 / 2 = 1520 / 2 = 760 \text{ мм.} \quad (3.7)$$

Найближчий з відповідних цій умові розмір $H_2 = 730$ мм відповідає типорозміру підшипника $d = 1180$ мм, який слід прийняти до установки.

Таблиця 3.2 – Розміри елементів вузла опорного валка, мм, і маси ПРТ

1	d	650	710	800	850	900	1000	1120	1180	1320
	l	$\frac{490}{600}$	$\frac{530}{630}$	$\frac{600}{710}$	$\frac{640}{750}$	$\frac{670}{800}$	$\frac{750}{900}$	$\frac{840}{1000}$	$\frac{880}{1060}$	$\frac{1000}{1180}$
2	d_6	650	710	797	847	891	981	1095	1148	1282
	d_7	570	630	710	760	800	890	1000	1050	1180
	d_8	$\frac{472}{450}$	$\frac{524}{504}$	$\frac{590}{568}$	$\frac{632}{610}$	$\frac{666}{640}$	$\frac{740}{710}$	$\frac{832}{800}$	$\frac{874}{838}$	$\frac{980}{944}$
	d_9	340	340	450	450	450	500	500	500	500
	d_{10}	275	275	380	380	380	425	425	425	425
	l_8	110	110	120	120	125	125	130	135	140
	l_9	$\frac{490}{595}$	$\frac{540}{650}$	$\frac{600}{710}$	$\frac{640}{750}$	$\frac{710}{840}$	$\frac{780}{930}$	$\frac{860}{1020}$	$\frac{930}{1110}$	$\frac{1030}{1210}$
	l_{10}	400	400	500	500	500	600	600	585	650
	l_{11}	220	220	260	290	290	290	320	350	380
	l_{12}	250	250	270	270	270	430	430	430	430
3	l_{13}	$\frac{380}{430}$	$\frac{410}{470}$	$\frac{450}{505}$	$\frac{470}{525}$	$\frac{525}{590}$	$\frac{550}{625}$	$\frac{600}{680}$	$\frac{635}{725}$	$\frac{710}{800}$
	l_{14}	$\frac{300}{350}$	$\frac{330}{390}$	$\frac{360}{415}$	$\frac{380}{435}$	$\frac{405}{470}$	$\frac{450}{525}$	$\frac{490}{570}$	$\frac{515}{605}$	$\frac{590}{680}$
	l_{15}	450	490	560	590	630	700	780	820	900
	l_{16}	$\frac{675}{780}$	$\frac{730}{840}$	$\frac{805}{915}$	$\frac{865}{975}$	$\frac{905}{1035}$	$\frac{1000}{1150}$	$\frac{1085}{1245}$	$\frac{1160}{1340}$	$\frac{1300}{1480}$
	l_{17}	$\frac{740}{800}$	$\frac{760}{810}$	$\frac{900}{910}$	$\frac{945}{1000}$	$\frac{970}{1110}$	$\frac{1130}{1210}$	$\frac{1190}{1250}$	$\frac{1260}{1350}$	$\frac{1280}{1410}$
	l_{18}	$\frac{920}{980}$	$\frac{940}{990}$	$\frac{1150}{1150}$	$\frac{1170}{1280}$	$\frac{1190}{1200}$	$\frac{1440}{1500}$	$\frac{1470}{1550}$	$\frac{1520}{1610}$	$\frac{1580}{1710}$
	B_4	1040	1150	1220	1300	1350	1500	1570	1760	1900
	D_7	710	770	870	920	970	1080	1210	1270	1420

	D_9	915	975	1120	1170	1250	1350	1500	1570	1750
	H_2	420	450	515	545	610	650	700	730	820
4	d_{11}	400	400	500	500	500	560	560	560	560
	D_8	600	600	720	720	720	820	820	820	820
	B_6	190	190	218	218	218	242	242	242	242
5	$G_{5.1}$	$\frac{1,85}{2,09}$	$\frac{2,13}{2,37}$	$\frac{3,29}{3,53}$	$\frac{3,57}{3,93}$	$\frac{4,14}{4,52}$	$\frac{5,70}{6,30}$	$\frac{7,10}{7,80}$	$\frac{8,08}{9,00}$	$\frac{10,45}{11,40}$
	$G_{5.2}$	$\frac{1,33}{1,70}$	$\frac{1,58}{1,80}$	$\frac{2,35}{2,70}$	$\frac{2,65}{3,00}$	$\frac{3,30}{4,08}$	$\frac{4,30}{4,90}$	$\frac{5,60}{6,25}$	$\frac{6,50}{7,40}$	$\frac{8,90}{9,85}$

У табл. 3.2 рядок 1 – це основні параметри підшипника рідинного тертя (діаметр та довжина), решта відносяться до наступних елементів вузла опорного валка:

- 2 – власне валок (рис. 3.1),
- 3 – подушки (рис. 3.2, 3.3),
- 4 – радіально-упорному підшипнику у фіксованому ПРТ (рис. 3.3);
- 5 – маса ПРТ з упорним вузлом ($G_{5.1}$) і без нього ($G_{5.2}$), т.

У чисельнику таблиці наведено параметри для підшипників при $l/d = 0,75$, а у знаменнику при $l/d = 0,90$.

Відносну довжину підшипника визначають залежно від навантаження так, щоб питомий тиск на площі діаметрального перерізу підшипника при роботі в тривалому режимі з урахуванням графіка здатності навантаження не перевищував 16 – 17 МПа.

Питомий тиск у підшипниках

$$q_0 = \frac{Y_0}{d^2(l/d)} = \frac{14,34}{1,18^2 \cdot 0,75} = 13,73 \text{ МПа} \quad (3.8)$$

навіть при $l/d = 0,75$ не перевищує допустимого і має підтримуватися в діапазоні частот обертання втулки-цапфи між наступними найбільшим і найменшим значеннями:

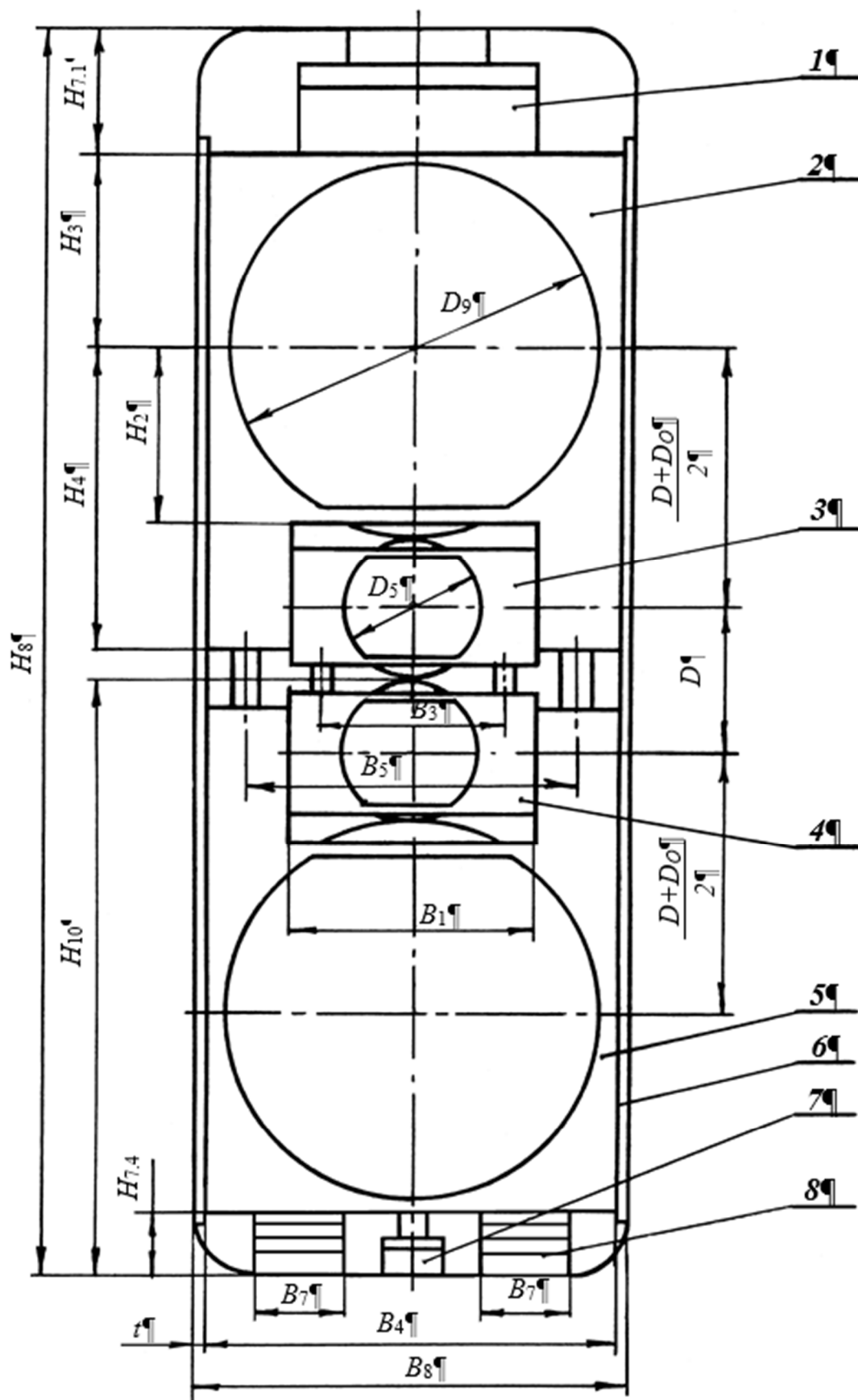


Рисунок 3.2 – Компонування елементів у вікні станини

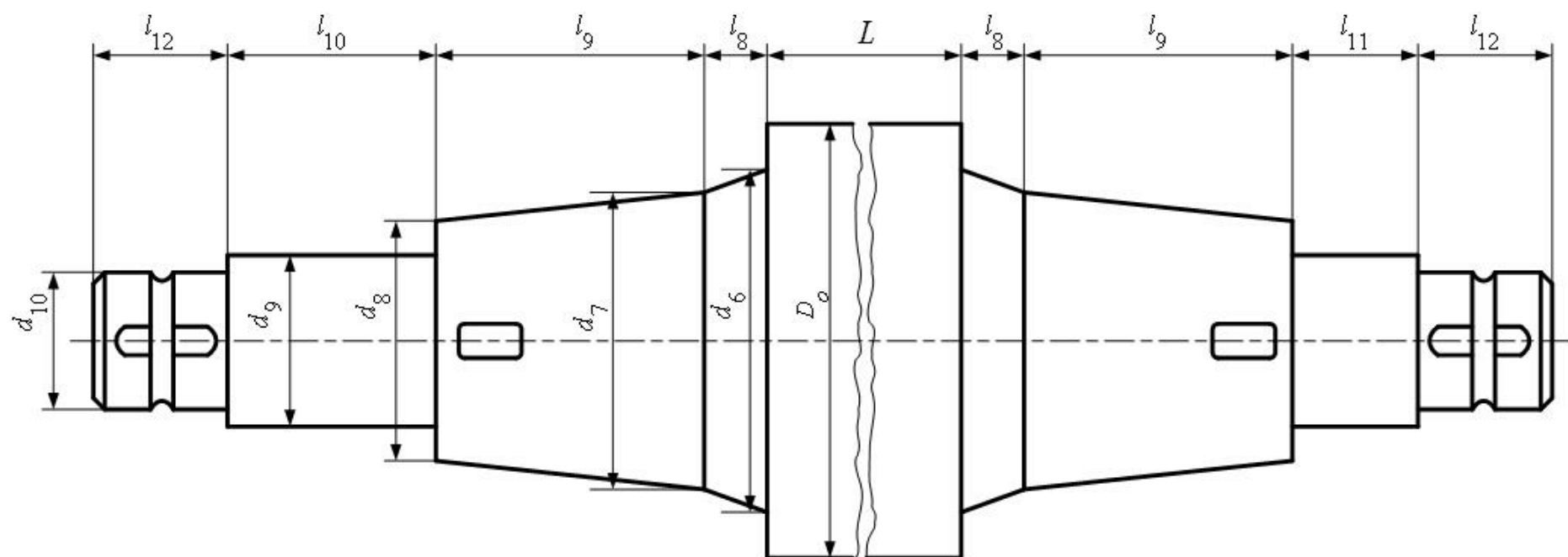


Рисунок 3.3 – Опорный валок

$$n_{o \max} = n_3 D / D_o = 353 \cdot 0,61 / 1,6 = 135,$$

$$n_{o \min} = n_0 D / D_o = 74 \cdot 0,61 / 1,6 = 28 \text{ об/хвил.} \quad (3.9)$$

Навантажувальна здатність гідродинамічного ПРТ залежить від швидкості цапфи, лінійно пов'язаної зі швидкістю прокатки, радіального відносного зазору і в'язкості олії [18]. Сорт олії в залежності від найбільшої швидкості прокатки вибирають по табл. 3.3, де для довідки також наведена динамічна в'язкість мастил при 50°C, за інших температур T розраховується за формулою $\eta = \eta_{50} (50/T)^m$.

Таблиця 3.3 – Вибір та характеристика мастил для ПРТ

Швидкість прокатки v , м/с	Сорт мастила	Динамічна в'язкість η_{50} , Па·с	Показник ступені m
Менше 8	для прокатних станів П-28	0,200	3,03
Більше 8 до 15	авіаційне МС-20	0,128	2,85
Більше 15 до 25	авіаційне МС-14	0,091	2,70
Більше 25 до 60	турбінне 30	0,028	2,19

Оскільки згідно з розрахунком найбільша швидкість прокатки дещо перевищує 11 м/с, треба зупинитися на авіаційній олії МС-20.

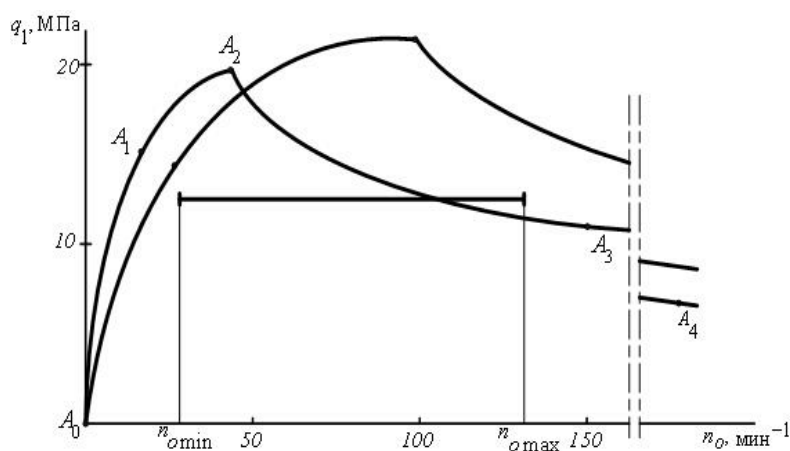


Рисунок 3.4 – Графіки навантажувальної здатності ПРТ

Графік здатності навантаження підшипника (рис. 3.4) будують за даними табл. 3.4 для прийнятого сорту олії та мінімального відносного зазору ψ у підшипнику по точках з координатами $A_0(0,0)$, $A_1(n_{o1}, q_{11})$, $A_2(n_{o2}, q_{12})$, $A_3(n_{o3}, q_{13})$, $A_4(n_{o4}, q_{14})$.

Якщо відрізок прямий від $n_{o \min}$ до $n_{o \max}$, проведений лише на рівні q_o , отриманому при $l/d = 0,75$, цілком перебуває під цим графіком здатності навантаження, то діаметр і довжина підшипника, сорт мастила і відносний зазор у ньому вважаються обраними. В іншому випадку треба побудувати графіки здатності навантаження підшипника при збільшених відносних зазорах ψ , а якщо цього недостатньо, перевірити прийнятність інших сортів масла і, нарешті, збільшити довжину підшипника до $l/d = 0,90$. Якщо це не призведе до задовільного результату, слід змінити режим прокатки [19].

Таблиця 3.4 – Дані для побудови графіка здатності навантаження ПРТ

Сорт мастила	d	$10^5 \psi$	Координати точок А							
			n_{o1}	q_{11}	n_{o2}	q_{12}	n_{o3}	q_{13}	n_{o4}	q_{14}
П-28	650	37	10	17	38	23	200	10	700	4
		50	10	14	70	23	200	12	800	5
		70	12	12	106	23	270	12	800	6
	710	39	13	17	43	22	180	11	720	4
		48	12	15	65	23	200	12	720	5
		63	20	15	110	23	270	12	720	6
	800	35	8	18	36	23	160	11	340	6
		55	10	11	90	24	180	13	340	8
		70	13	13	120	22	200	14	340	10
	850	36	10	17	35	23	140	11	340	5
		53	14	15	80	23	170	13	340	7
		70	17	13	116	22	200	14	340	10
	900	33	15	19	40	24	130	12	320	4
		50	20	17	76	25	160	14	320	6

	1000	35	16	19	35	24	130	12	300	7
		50	20	17	80	24	160	14	300	9
	1120	34	18	20	42	25	110	13	320	4
		50	19	17	80	24	130	15	320	6
	1180	34	16	19	37	24	140	10	340	4
		50	20	17	82	23	150	13	340	6
	1320	34	13	18	37	24	85	13	210	6
50		16	16	64	22	100	15	210	9	
МС-20	650	37	18	18	65	21	250	10	880	3
		50	20	16	110	21	300	12	880	5
		70	28	14	190	21	350	14	880	7
	710	39	15	17	60	21	300	9	900	3
		48	15	15	95	21	300	11	900	5
		63	20	14	150	21	320	13	900	6

Сорт мастила	d	$10^5 \psi$	Координати точок А							
			n_{o1}	q_{11}	n_{o2}	q_{12}	n_{o3}	q_{13}	n_{o4}	q_{14}
МС-20	800	35	20	19	42	21	190	11	400	7
		55	20	15	80	21	220	12	400	8
		70	20	13	136	21	250	13	400	9
	850	36	14	17	48	21	180	11	400	7
		53	18	15	76	21	220	12	400	8
		70	18	12	132	20	230	13	400	9
	900	33	21	18	46	21	160	12	400	7
		50	25	17	96	21	220	12	400	8
	1000	35	24	19	46	21	150	12	380	7
		50	27	17	92	21	180	14	380	8
	1120	34	20	19	48	21	150	12	380	7
		50	26	17	92	21	170	14	380	8
	1180	34	16	18	50	20	150	12	360	7
		50	20	16	90	21	170	14	360	8
	1320	34	12	17	44	21	100	14	200	8

		50	11	13	77	21	115	15	200	9
MC-14	650	37	15	16	40	20	250	11	900	3
		50	25	16	110	21	350	11	900	5
		70	30	13	200	21	400	13	900	6
	710	39	15	16	50	20	275	10	900	4
		48	20	15	105	21	325	11	900	5
		63	22	13	180	21	375	13	900	6
	800	35	16	17	42	20	200	11	400	8
		55	20	14	90	20	210	13	400	9
		70	22	12	150	21	260	14	400	10
	850	36	23	18	38	20	210	11	400	7
		53	24	15	82	20	220	13	400	8
		70	26	13	130	19	240	14	400	9
	900	33	20	18	46	21	170	12	400	6
		50	21	15	102	21	210	14	400	8
	1000	35	21	18	45	21	190	11	400	6
		50	24	16	100	21	190	14	400	8
	1120	34	12	16	44	21	160	12	380	6
		50	21	15	100	20	190	14	380	7
	1180	34	12	16	54	21	160	11	380	6
		50	21	15	100	21	200	13	380	7
1320	34	11	15	50	21	160	11	360	4	
	50	14	13	80	21	160	11	360	5	
T-30	650	37	50	17	140	20	600	8	900	6
		50	75	17	210	19	600	10	900	7
		70	100	15	325	17	600	11	900	8
	710	39	50	17	110	19	500	9	900	6
		48	50	15	185	18	500	10	900	7
		63	50	13	300	17	500	11	900	8
	800	35	40	17	105	20	320	11	450	8
		55	60	15	160	20	300	13	450	10
		70	90	14	215	19	320	15	450	11

Сорт мастила	d	$10^5 \psi$	Координати точок А							
			n_{o1}	q_{11}	n_{o2}	q_{12}	n_{o3}	q_{13}	n_{o4}	q_{14}
Т-30	850	36	40	17	100	19	300	10	420	7
		53	70	16	145	19	300	13	420	9
		70	80	14	215	18	300	15	420	11
	900	33	50	18	95	19	240	11	400	8
		50	70	17	140	19	240	14	400	10
	1000	35	50	18	85	19	240	12	400	7
		50	80	17	125	19	240	14	400	9
	1120	34	50	18	85	19	240	12	400	8
		50	60	16	125	19	240	14	400	9
	1180	34	50	18	90	19	240	12	400	7
		50	50	15	125	19	240	14	400	8
	1320	34	30	16	60	19	240	10	400	6
		50	50	15	105	17	240	12	400	7

У нашому випадку відрізок 28 – 135 об/хв на рівні 13,73 МПа не підпадає під графік навантажувальної здатності ПРТ 1180 при $l/d = 0,75$, змащуванні олією МС-20 та мінімальному відносному зазорі $\psi = 0,00034$, але потрапляє при збільшенні останнього до 0,00050. Тому до установки можна прийняти ПРТ з характеристиками $d = 1180$ мм, $l/d = 0,75$, $\psi = 0,00050$, сорт мастила МС-20.

2. Конструкція подушок та підшипникового вузла

Конструкцію подушок та підшипникового вузла ілюструють рис. 3.2 та 3.5. На рис. 3.5 представлені два варіанта виконання ПРТ: над горизонтальною віссю зображена частина підшипника з упорним вузлом, а під нею (ліворуч від лінії обриву) – без упорного вузла. На рис. 3.5 видно:

1 – вузол задньої кришки з ущільненнями (не опрацьований),

2 – втулка-цапфа,

- 3 – втулка-вкладиш з бабітовою заливкою,
- 4, 12 – корпуси подушок з упорним вузлом і без нього,
- 5 – шпонка,
- 6, 11 – втулки у виконаннях 1 та 2,
- 7 – підшипник кочення упорного вузла,
- 8, 10 – вузли передньої кришки з ущільненнями для виконання підшипників з упорним вузлом і без нього (не опрацьовані),
- 9 – кожух.

Манжетні ущільнення в передній і задній кришках робочою кромкою притискаються до шийки валка, що обертається, або втулці-цапфі, а торцеве в задній кришці – до торця бочки валка. Детально конструкцію не опрацьованих вузлів можна відновити, звернувшись до літератури.

3. Валок (рис. 3.3)

Розміри валка згідно з табл. 3.2, а також його габаритна довжина

$$\begin{aligned}
 d_6 &= 1148, \quad d_7 = 1050, \quad d_8 = 874, \quad d_9 = 500, \quad d_{10} = 425, \\
 l_8 &= 135, \quad l_9 = 930, \quad l_{10} = 585, \quad l_{11} = 350, \quad l_{12} = 430, \\
 L_3 &= L + 2(l_8 + l_9 + l_{12}) + l_{10} + l_{11} = \\
 &= 1450 + 2 \cdot (135 + 930 + 430) + 585 + 350 = 5375 \text{ мм.}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

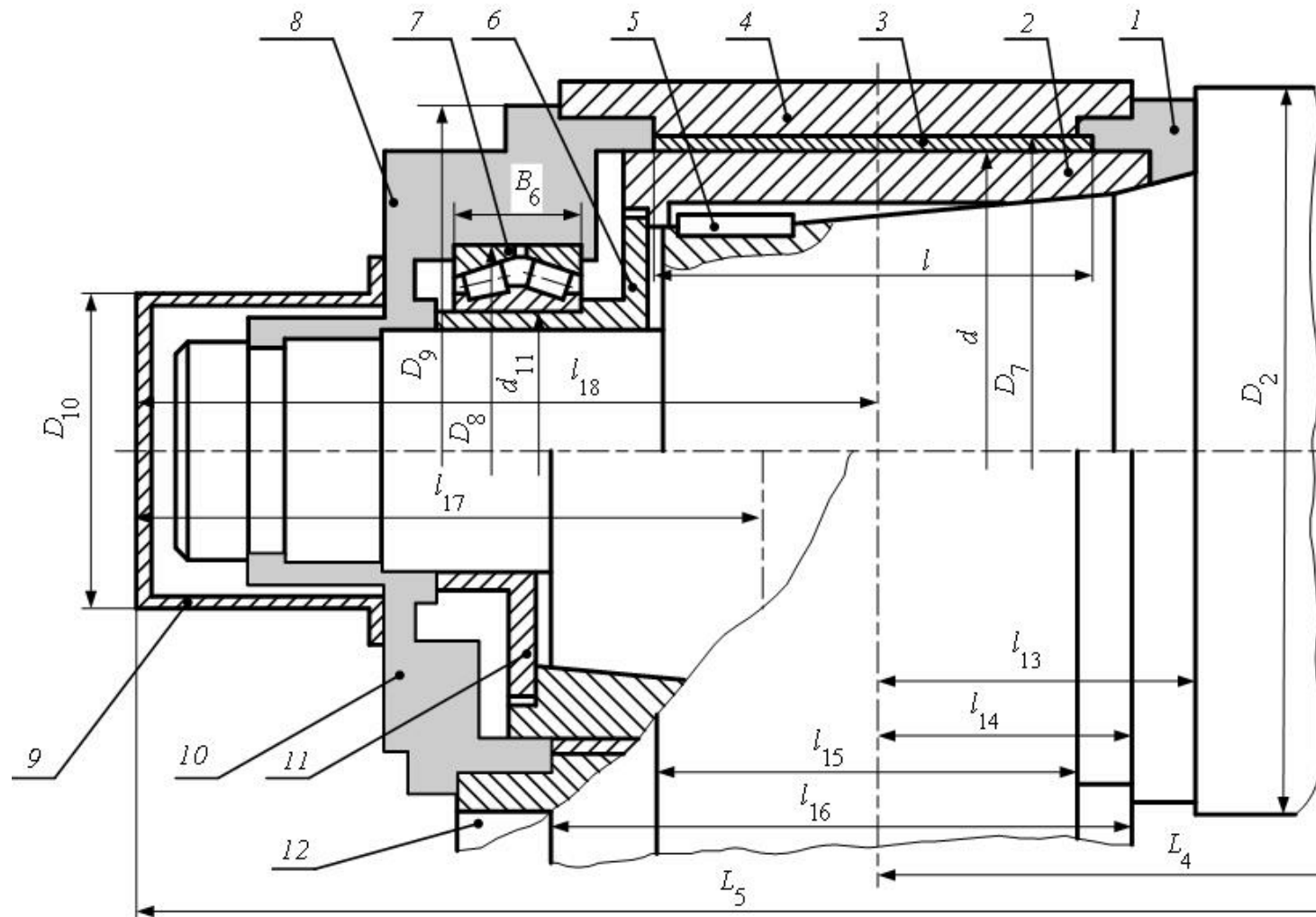


Рисунок 3.5 – Конструкції подушок та підшипникових вузлів опорного валка

Нормальна конусність шийок валка $K = 1 : 5 = 0,2$.

Маса і момент інерції одного валка

$$G_4 = \frac{\pi\rho_1}{4} \left[LD_0^2 + \frac{d_6^3 - d_7^3}{3a_1} + \frac{d_7^3 - d_8^3}{3a_2} + (l_{10} + l_{11})d_9^2 + 2l_{12}d_{10}^2 \right] =$$

$$= \frac{\pi \cdot 7,8}{4} \left[1,45 \cdot 1,6^2 + \frac{1,148^3 - 1,05^3}{3 \cdot 0,3630} + \frac{1,05^3 - 0,874^3}{3 \cdot 0,1} + \right.$$

$$\left. + (0,585 + 0,35) \cdot 0,5^2 + 2 \cdot 0,43 \cdot 0,425^2 \right] = 37,13 \text{ т},$$

$$\text{де } a_1 = \frac{d_6 - d_7}{2l_8} = \frac{1,148 - 1,05}{2 \cdot 0,135} = 0,3630 \approx \text{tg}20^\circ, \quad (3.11)$$

$$a_2 = \text{tg}(\text{arc tg}(K/2)) = \text{tg}(\text{arc tg}(0,2/2)) = 0,1.$$

$$J_2 = \frac{\pi\rho_1}{32} \left[LD_0^4 + \frac{d_6^5 - d_7^5}{5a_1} + \frac{d_7^5 - d_8^5}{5a_2} + (l_{10} + l_{11})d_9^4 + 2l_{12}d_{10}^4 \right] =$$

$$= \frac{\pi \cdot 7,8}{32} \left[1,45 \cdot 1,6^4 + \frac{1,148^5 - 1,05^5}{5 \cdot 0,2963} + \frac{1,05^5 - 0,874^5}{5 \cdot 0,1} + \right.$$

$$\left. + (0,585 + 0,35) \cdot 0,5^4 + 2 \cdot 0,43 \cdot 0,425^4 \right] = 8,8195 \text{ тм}^2.$$

4. Підшипникові вузли та подушки (рис. 3.2 та 3.6)

Основні розміри (табл. 3.2)

$$\text{ПРТ: } d = 1180, \quad l = 880, \quad l_{13} = 635, \quad l_{14} = 515, \quad l_{15} = 820, \quad l_{16} = 1160,$$

$$l_{17} = 1260, \quad l_{18} = 1520, \quad L_4 = L + 2l_{13} = 1450 + 2 \cdot 635 = 2720,$$

$$L_5 = L_4 + l_{17} + l_{18} = 2720 + 1260 + 1520 = 5500,$$

$$D_7 = 1270, \quad D_{10} = 1,2d_{10} = 1,2 \cdot 425 = 510, \quad (3.12)$$

$$\text{підшипник кочення: } d_{11} = 560, \quad D_8 = 820, \quad B_6 = 242,$$

$$\text{подушка: } H_2 = 730, \quad B_4 = 1760, \quad D_9 = 1570, \quad H_3 = B_4 / 2 = 1760 / 2 = 880,$$

$$H_4 = H_1 + H_2 = 550 + 730 = 1280 \text{ мм}.$$

Маса одного ПРТ (табл. 3.2), однієї подушки та вузла одного опорного валка

$$\begin{aligned}
 G_{5.1} &= 8,08, \quad G_{5.2} = 6,50, \quad G_6 = \rho_3 l_{16} [(H_3 + H_4)B_4 - H_1 B_1 - \pi D_7^2 / 4] = \\
 &= 7,6 \cdot 1,16 \cdot [1,76 \cdot (0,88 + 1,28) - 0,96 \cdot 0,55 - \pi \cdot 1,27^2 / 4] = 17,69, \quad (3.13) \\
 G_7 &= G_4 + G_{5.1} + G_{5.2} + 2G_6 = 37,13 + 8,08 + 6,50 + 2 \cdot 17,69 = 87,09 \text{ т.}
 \end{aligned}$$

3.2 Вузол станин

3.2.1 Станини

1. Розміри перерізів стійок та поперечок (рис. 3.6)

$$h_1 = b_1 = b_2 = l_{15} = 820, \quad h_2 = 1,5h_1 = 1,5 \cdot 820 = 1230 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

2. Розміри вікна по ширині та висоті (рис. 3.6 а)

$$\begin{aligned}
 B_8 &= B_4 + 2t = 1760 + 2 \cdot 40 = 1840, \\
 H_8 &= 2D + D_o + 2H_3 + H_{7.1} + H_{7.4} = \\
 &= 2 \cdot 610 + 1600 + 2 \cdot 880 + 525 + 170 = 5275 \text{ мм.}
 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Ці розміри передбачають гідравлічну установку валків. У разі застосування клинового пристрою для встановлення лінії прокатки в ці розміри повинні вписатися клини заввишки $H_{7.4} = 465$ мм та їх напрямні.

3. Зовнішні габарити та радіус заокруглення зовнішнього контуру

$$\begin{aligned}
 B_9 &= B_8 + 2h_1 = 1840 + 2 \cdot 820 = 3480, \\
 H_9 &= H_8 + 2h_2 = 5275 + 2 \cdot 1230 = 7735, \quad R_1 = D_o / 2 = 1600 / 2 = 800 \text{ мм.}
 \end{aligned} \quad (3.16)$$

4. Ширина лапи, висота лапи і бабишки (рис. 3.6 в)

$$\begin{aligned}
 b_3 &= h_3 = 0,2D_o = 0,2 \cdot 1600 = 320 \Rightarrow^1 320, \\
 h_4 &= 1,25h_3 = 1,25 \cdot 320 = 400 \Rightarrow^1 400 \text{ мм.}
 \end{aligned} \quad (3.17)$$

5. Прив'язка лінії прокатки та низу лап до низу вікна станини

$$\begin{aligned}
 H_{10} &= H_{7.4} + H_3 + D_o / 2 + D = 170 + 880 + 1600 / 2 + 610 = 2460, \\
 H_{11} &= h_3 = 320 \text{ мм.}
 \end{aligned} \quad (3.18)$$

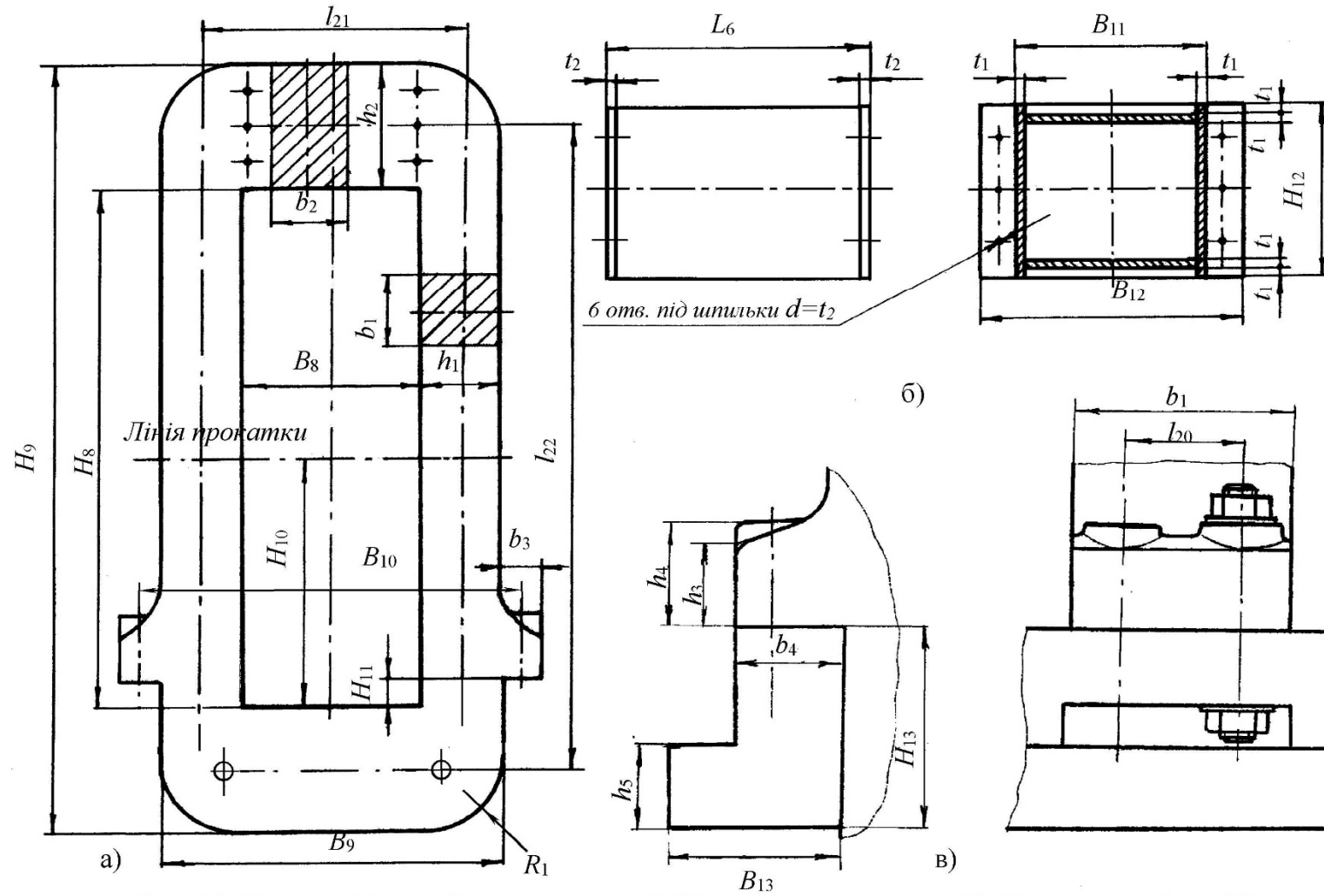


Рисунок 3.6 – Станина (а), короб сполучний (б) та лапа на плитовині (в)

6. Діаметр та бази чотирьох шпильок для кріплення станини до плитовини

$$\begin{aligned}d_{15} &= 0,08D_o + 10 = 0,08 \cdot 1600 + 10 = 138 \Rightarrow 140, \\B_{10} &= B_9 + b_3 = 3480 + 320 = 3800, \\l_{20} &= b_1 / 2 = 820 / 2 = 410 \text{ мм.}\end{aligned}\tag{3.19}$$

Розрахунковий діаметр шпильки d_{15} округляють у велику сторону до найближчого в параметричному ряду метричних різьблень за ДСТУ 9150 - 2002 (M90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 100). Кожна лапа кріпиться до плити двома шпильками, таким чином, у нашому випадку слід використовувати 8 шпильок M140. До фундаменту плитовини кріпляться вісьмома фундаментними болтами такого ж діаметра завдовжки $(20 - 30)d_{15}$.

7. Маса однієї станини

$$\begin{aligned}G_9 &= 2 \rho_3 [h_1 b_1 H_8 + h_2 b_2 B_9 - R_1^2 b_2 (2 - \pi / 2)] = \\&= 2 \cdot 7,6 [0,82 \cdot 0,82 \cdot 5,275 + 1,23 \cdot 0,82 \cdot 3,48 - 0,8^2 \cdot 0,82 (2 - \pi/2)] = 103,84 \text{ т.}\end{aligned}\tag{3.20}$$

3.2.2 Розпірні (з'єднувальні) елементи

Між верхніми поперечками станин на 6 шпильках встановлюють розпірний з'єднувальний короб (рис. 3.6 б), а в кутах нижніх на нейтральній осі – дві розпірні шпильки

1. Товщина стінок, фланців та діаметр кріпильних шпильок короба

$$t_1 = 0,02D_0 = 0,02 \cdot 1600 = 32 \Rightarrow 32, \quad t_2 = 1,25t_1 = 1,25 \cdot 32 = 40 \Rightarrow 40 \text{ мм.}\tag{3.21}$$

Товщини округляють до цілих відповідно до загальноприйнятих правил. Діаметр шпильок кріплення короба приймають по товщині фланця рівною 40 мм, їх різьблення - за ДСТУ 9150 – 2002.

2. Висота та ширина фланців короба

$$H_{12} = h_2 - 10 = 1230 - 10 = 1220 \text{ мм.} \quad B_{12} = B_8 = 1840 \text{ мм.} \quad (3.22)$$

3. Ширина, довжина та маса короба

$$\begin{aligned} B_{11} &= B_{12} - 2 \cdot 2,5t_2 = 1840 - 2 \cdot 2,5 \cdot 40 = 1640, \\ L_6 &= L_4 - b_2 = 2720 - 820 = 1900 \text{ мм,} \\ G_{101} &= 2\rho_1 [H_{12}B_{12}t_2 + (L_6 - 2t_2)H_{12}t_1 + (B_{11} - 2t_1)(L_6 - 2t_2)t_1] = \\ &= 2 \cdot 7,8 \cdot [1,22 \cdot 1,84 \cdot 0,04 + (1,9 - 2 \cdot 0,04) \cdot 1,22 \cdot 0,032 + \\ &+ (1,64 - 2 \cdot 0,032) \cdot (1,9 - 2 \cdot 0,04) \cdot 0,032] = 3,94 \text{ т.} \end{aligned} \quad (3.23)$$

4. Діаметр тіла та загальна довжина розпірних шпильок (на малюнках не показані) з двома кінцями під відповідне різьблення і маса однієї шпильки

$$\begin{aligned} d_{16} &= 1,2d_{15} = 1,2 \cdot 140 = 168 \Rightarrow 170, \\ L_{61} &= L_6 + 2b_2 + 2d_{15} = 1900 + 2 \cdot 820 + 2 \cdot 140 = 3820 \text{ мм,} \\ G_{102} &= \pi\rho_1 [d_{16}^2 L_6 + 2d_{15}^2 (b_2 + d_{15})] / 4 = \\ &= \pi \cdot 7,8 \cdot [0,17^2 \cdot 1,9 + 2 \cdot 0,14^2 \cdot (0,82 + 0,14)] / 4 = 0,57 \text{ т.} \end{aligned} \quad (3.24)$$

3.2.3 Напрямні планки, плитовини та маса вузла станин

Бронзові напрямні планки на внутрішніх поверхнях стійок фіксують у вікнах станин подушки опорних валків. На плитовини станини опираються лапами, вони представлені тут у вигляді балок Г-подібного перерізу (рис. 3.6 в).

1. Основні розміри планок і плит, включаючи не показані на рисунку їх довжини l_{31} та L_7 ,

$$\begin{aligned} \text{планка:} \quad t &= D_o / 40 = 1600 / 40 = 40 \Rightarrow^1 40, \quad b = l_{15} = 820, \\ l_{31} &= H_8 - 500 = 5275 - 500 = 4775 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (3.25)$$

плитовина: $H_{13} = 0,5D_o = 0,5 \cdot 1600 = 800$, $B_{13} = 2b_4 = 2 \cdot 320 = 640$,

$$h_5 = b_3 = b_4 = 320, \quad L_7 = L_4 + 2b_1 = 2720 + 2 \cdot 820 = 4360 \text{ мм.}$$

2. Маса однієї планки, однієї плитовини та вузла станин без шпильок, що з'єднують короб та плитовини зі станинами, їх гайок та шайб, а також гайок та шайб розпірних шпильок між станинами

планка: $G_{91} = \rho_4 t l_{31} b = 8,6 \cdot 0,04 \cdot 4,78 \cdot 0,82 = 1,35$,

плитовина: $G_{11} = \rho_3 (h_5 + H_{13}) b_4 L_7 = 7,6 \cdot (0,32 + 0,8) \cdot 0,32 \cdot 4,36 = 11,88 \text{ т.}$

вузол станин: $G_{12} = 2(G_9 + 2G_{91} + G_{102} + G_{11}) + G_{101} =$

$$= 2 \cdot (103,84 + 2 \cdot 1,35 + 0,57 + 11,88) + 3,94 = 241,89 \text{ т.}$$

(3.26)

3.3 Дослідження роботи лінії неперервного травлення гарячекатаних рулонів у ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

3.3.1 Освоєння комплексу безперервного травильного агрегату №4 та регенерація соляної кислоти у ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Цех холодного прокату №1 (ЦХП-1) комбінату «Запоріжсталь» донедавна мав у своєму складі три травильні лінії. Штаби з вуглецевих марок сталі труїлися в НТА-1 і НТА-2 (НТА – неперервний травильний агрегат), леговані марки – в НТА-2, нержавіючі – тільки в травильному агрегаті №3, яка у зв'язку із закриттям виробництва нержавіючих марок сталі була давно законсервована. Таким чином масовий прокат проходив переділ на НТА-1 та НТА-2, які проводили травлення штаб у сірчаній кислоті. Дані травильні агрегати були встановлені в ЦХП-1 у 50-х роках минулого століття, фізично та морально застаріли, не забезпечували необхідної якості травлення металопродукату.

Важливими негативними факторами старого травильного відділення були (рис. 3.7):



Рисунок 3.7 – Негативні факторами старого травильного відділення

З вищевказаних причин питання будівництва нової травильної лінії для комбінату було пріоритетним. Активно опрацьовувалися техніко-комерційні пропозиції різних фірм-виробників обладнання травильної лінії. Постачальником обладнання для НТА-4 та установки регенерації соляної кислоти (УРСК) виступила фірма «Siemens VAI» (Австрія) та «СМІ UVK» (Німеччина) – авторитетні компанії, що спеціалізуються на проектуванні та будівництві великих промислових комплексів металургійної галузі.

Проектна продуктивність нової НТА-4 – 1 млн. 350 тис. тон на рік. За показником річної продуктивності нова лінія перевищує сумарну виробничу потужність двох старих травильних ліній НТА-1 \approx 800 тис. тон на рік, НТА-2 \approx 250 тис. тон на рік.

З введенням в роботу нової травильної лінії значно розширився розмірний сортамент штаб, що протравлюються – лінія розрахована на виробництво гарячекатаного травленого прокату з вуглецевих марок сталі товщиною 1,0÷6,0 мм і шириною від 850 до 1500 мм. Для порівняння старі травильні лінії забезпечували травлення штаб товщиною трохи більше 3,8 мм.

Як і будь-яку іншу травильну лінію, НТА-4 можна умовно розділити на 3 основні частини: вхідну, технологічну та вихідну.

До складу обладнання *вхідної частини* НТА-4 входять:

- конвеєр передачі гарячекатаних рулонів до НТА-4, після їх остигання на складі. Слід зазначити, що передача рулонів здійснюється горизонтально для виключення травмування кромки рулонів;

- ділянка підготовки рулонів з мультимовими ножицями для обрізання зім'ятих та дефектних зовнішніх витків рулонів, на якому також забезпечується правильне позиціонування рулонів;

- двопозиційний розмотувач, що забезпечує високу продуктивність завдання рулонів у НТА-4;

- дві правильні машини, для виправлення передніх і задніх кінців штаб перед завданням у ножі та зварювальну машину;
- ножі, для обрізання кінців рулонів;
- лазерна зварювальна машина виробництва компанії «Мібах» (рис. 4.4), що дозволяє проводити якісне зварювання нетравлених штаб завтовшки від 1,0 до 6,0 мм;

Технологічна частина НТА-4 представлена правильно-розтяжною машиною, травильними ваннами, ваннами гарячого промивання та сушильним пристроєм.

Правильно-розтяжна машина (окаліноломач) призначена для злому (створення тріщин у шарі окаліни) окаліни, з метою підвищення ефективності травлення, та правки гарячекатаної штаби. Виникаючі при цьому тріщини забезпечують проникнення кислоти між шаром окаліни та поверхнею металу, при цьому збільшується ефективність травлення.

Травильні ванни мають загальну довжину 104 м. Усього в лінії є 4 травильні ванни кожна довжиною по 26 м. Наповнення ванн забезпечується високотурбулентним упорскуванням травильного розчину з бічних форсунок і форсунок на вході у ванну, завдяки чому забезпечується висока ефективність процесу травлення. Кожна травильна ємність має власну систему циркуляції кислоти з роздільними циркуляційними баками об'ємом по 50 м³, призначення яких – створення каскаду, живлення відповідної травильної ванни, і що важливо, прийом всього об'єму травильного розчину з ванни при тривалих або аварійних зупинках на лінії, а також розтравлення штаби. Циркуляційні ємності з'єднані між собою каскадним способом – кислота з четвертого контуру перетікає в систему третього/другого/першого контуру травлення, тим самим досягається градація концентрації розчину. Перетікання травильних розчинів між баками здійснюється під дією різниці рівнів у сусідніх баках і автоматично регулюється відсічними клапанами.

Для недопущення надмірного спустошення або заповнення підтримка рівнів у циркуляційних баках також здійснюється автоматично.

Використана кислота з першого контуру травлення перекачується на установку регенерації. Встановлений у першому циркуляційному контурі програмний аналізатор «Farlas» забезпечує можливість автоматичного регулювання процесом подачі регенованого травильного розчину у ванну №4.

Завдяки наявності п'ятисекційної ванни гарячого промивання за рахунок використання конденсатної води та/або води з установки зворотного осмосу здійснюється ефективно промивання травленої штаби від залишків кислоти, хлориду заліза та травильних шламів.

Подальше сушіння штаби здійснюється в сушильному пристрої під впливом гарячого повітря з температурою 130°C.

Вихідна ділянка має у своєму складі дискові кромкообрізні ножиці, інспекційну кімнату для контролерів ВТК, машину електростатичного типу, що промаслює, одну барабанну моталку плаваючого типу, для щільного і рівного змотування рулонів вагою до 18,5 т. Моталка оснащена знімним сегментом, що дозволяє змотувати рулони із внутрішнім діаметром 610 або 750 мм.

З'єднують частини травильної лінії два накопичувачі (відповідно, вхідний шестирядний та вихідний чотирирядний – довжиною 515 та 485 метрів), які є буферами для забезпечення роботи технологічної частини НТА-4 на високих швидкостях (рис. 3.8).

Регенерація – це високотемпературний процес розкладання хлористого заліза (що утворюється при травленні) в соляну кислоту та оксид заліза. Соляна кислота повертається назад до НТА-4, а оксид заліза прямує до аглодоменого виробництва. Таким чином забезпечується безвідходне виробництво. Оксид заліза, отриманий способом пірогідролізу

в псевдозрідженому шарі (при 850°C), має дрібнозернисту структуру з діаметром частинок від 0,2 до 1,0 мм, без пилу, та легко транспортується.



Рисунок 3.8 – Установа НТА-4 ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Установа регенерації соляної кислоти (рис. 3.9), побудована в комплексі з НТА-4, має в своєму складі відразу 2 реактори, які можуть працювати як одночасно так і поперемінно, для забезпечення гнучкості та безперервності процесу регенерації відпрацьованих травильних розчинів та подачі регенерату на НТА-4. Продуктивність кожного реактора 7,5 м³/год. Ступінь регенерації кислоти понад 99%. Для забезпечення гнучкості роботи та погодження з НТА-4 УРСК має резервуарний парк із шістьма ємностями по 100 м³ кожна.

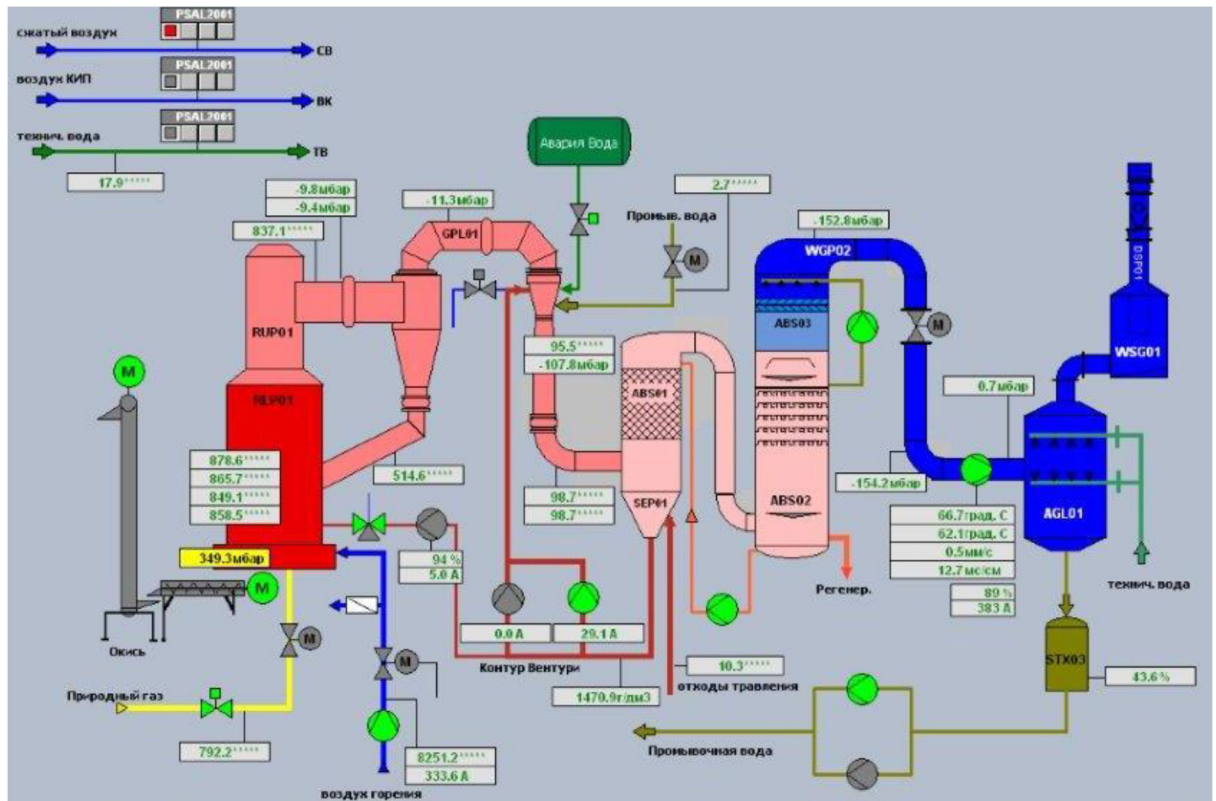


Рисунок 3.9 – Схема регенерации соляной кислоты нового травильного отделения НТА-4



Рисунок 3.10 – Лазерная стикозварювальна машина «Місбах» НТА-4

3.4 Організація виробництва на ПАТ «Запоріжсталь»

3.4.1 Превентивне обслуговування обладнання на ПАТ «Запоріжсталь»

Превентивне обслуговування обладнання – це обслуговування, спрямоване на недопущення або запобігання виникненню несприятливого (кризового, аварійного) стану обладнання, націленого на надійність.

Загальноприйняті стратегії ремонтів

1. Стратегія роботи «на відмову»

Переваги:

- не потребує високої кваліфікації ремонтного персоналу.

Недоліки:

- висока ймовірність позапланових простоїв через раптові відмови обладнання;
- дорогі та тривалі ремонти, що виникають через велику кількість дефектів.

2. Стратегія планово-попереджувальних ремонтів

Переваги:

- дозволяє знизити ймовірність раптової відмови обладнання;
- мінімізувати тривалість ремонту;
- підготувати дострокову фінансову програму з управління грошовими потоками на технічне обслуговування і ремонти обладнання.

Недоліки:

- велика трудомісткість профілактичних робіт, що зростає пропорційно до збільшення кількості обладнання і що призводить до зростання чисельності персоналу;

- застарілі нормативні документи, що не відображають реальний стан справ по технічному обслуговуванню і ремонтам обладнання, внаслідок чого обсяги робіт та чисельність персоналу виявляються завищеними;
- відсутність гарантій надійної роботи обладнання у міжремонтний період;
- планові квартальні ремонти можуть призвести і до зростання кількості відмов (за рахунок порушення кінематичних зав'язків вузлів обладнання, що встановилися).

3. Стратегія ремонтів за фактичним станом

Переваги:

- дозволяє максимально використовувати ресурс обладнання (виводити в ремонт тільки ті вузли і лише тоді, коли це дійсно необхідно);
- контролювати та забезпечувати високу надійність роботи обладнання;
- управляти фінансовими потоками на заміну та ремонти обладнання;
- мінімізувати витрати на технічне обслуговування та ремонти.

Додаткові вимоги:

- розвиток надійної системи діагностики;
- високі вимоги до культури праці та кваліфікації персоналу.

На ПАТ «Запоріжсталь» застосовуються усі три стратегії ремонтів обладнання.

3.4.2 Технічна діагностика обладнання на ПАТ «Запоріжсталь»

Технічна діагностика (ТД) – це галузь знань, що охоплює теорію, методи та засоби визначення технічного стану об'єктів та обладнання.

Мета ТД – підвищення надійності та ресурсу технічних систем.

Основними завданнями технічної діагностики є розпізнавання стану технічної системи за умов обмеженої інформації:

- перевірка справності, при якій вирішується завдання виявлення в об'єкті несправності, що переводить об'єкт діагностування (ОД) зі справного стану в несправний;
- перевірка працездатності, при якій вирішується задача виявлення несправностей, які переводять ОД з безлічі працездатних систем у безліч тих систем, що відмовили;
- перевірка правильності функціонування, що вирішується під час роботи ОД;
- пошук несправностей (дефектів), у якому вирішується проблема вказівки несправного елемента в ОД;
- прогнозування стану ОД: вивчається характер зміни діагностичних параметрів та на їх основі (тенденцій) передбачаються значення параметрів у майбутньому;

Вирішення завдань ТД завжди пов'язане з прогнозуванням надійності на найближчий період експлуатації (до наступного технічного огляду):

- Своєчасна та достовірна оцінка стану обладнання (суттєве зниження кількості аварій, можливість ефективного планування термінів та обсяг ремонтних робіт);
- Виявлення причин підвищеної вібрації та їх усунення (зниження віброактивності обладнання, підвищення якості продукції, продовження ресурсу);
- Захист особливо відповідального обладнання (запобігання аваріям);
- Контроль обладнання на всіх етапах життєвого циклу (введення в експлуатацію, експлуатація, ремонт);
- Скорочення витрат на обслуговування та ремонт обладнання (планування термінів та обсяг ремонтних робіт, виключення незапланованих простоїв);
- Перехід до більш ефективні форми обслуговування.

3.4.2.1 Методи діагностики обладнання, що використовуються на ПАТ «Запоріжсталь»

Вібродіагностика.

- Тепловий контроль.
- Коерцитиметрія.
- Балансирування.
- Центрування.
- Спектральний аналіз.
- Ендоскопія.
- Твердометрія.
- Товщинометрія.
- Капілярна діагностика.

Вібраційна діагностика – це метод діагностування технічних систем і обладнання, заснований на аналізі параметрів вібрації, або створюваної працюючим обладнанням, або вторинної вібрації, обумовленою структурою досліджуваного об'єкта.

Перевагою вібродіагностики є можливість повної діагностики та прогнозу безаварійної роботи роторного обладнання з переходом на обслуговування та ремонт за фактичним станом. Її використання дозволяє скоротити обсяг ремонтних робіт на 15 – 70%, що дозволяє окупити витрати на придбання систем моніторингу та діагностики за 3-6 місяців. Усі види дефектів устаткування, що обертається, визначаються за кілька місяців до виникнення аварійної ситуації, що дозволяє планувати обсяг і строки проведення ремонтних робіт.

На рис. 3.11 наведено обладнання, що використовується для вібродіагностики на ПАТ «Запоріжсталь».



Рисунок 3.11 – Обладнання, що використовується для вібродіагностики на ПАТ «Запоріжсталь»

Тепловий контроль

Тепловий контроль ґрунтується на вимірі, моніторингу та аналізі температури контрольованих об'єктів. Основною умовою застосування теплового контролю є наявність в об'єкті, що контролюється, теплових потоків. Процес передачі теплової енергії, виділення або поглинання тепла в об'єкті призводить до того, що його температура змінюється щодо навколишнього середовища. Розподіл температури по поверхні об'єкта є основним параметром в тепловому методі, так як несе інформацію про особливості процесу теплопередачі, режим роботи об'єкта, його внутрішню структуру та наявність прихованих внутрішніх дефектів.

Зміна температурного режиму передуює виходу обладнання з ладу.

Механічне обладнання. Підшипник нагрівається за рахунок збільшення тертя у зв'язку зі зносом.

Електричне обладнання. Нагрівом супроводжується, як правило, опір контактної групи.

Енергетичне обладнання. Можливе як нагрівання, так і охолодження залежно від типу обладнання.

Сфери застосування теплового контролю обладнання комбінату


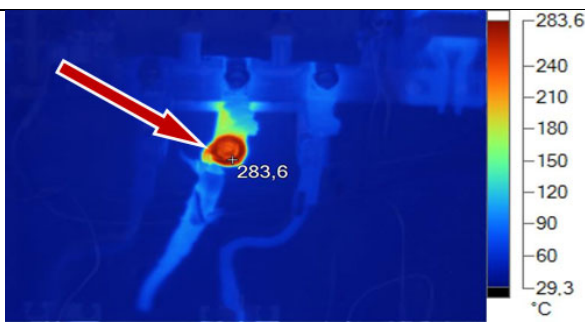
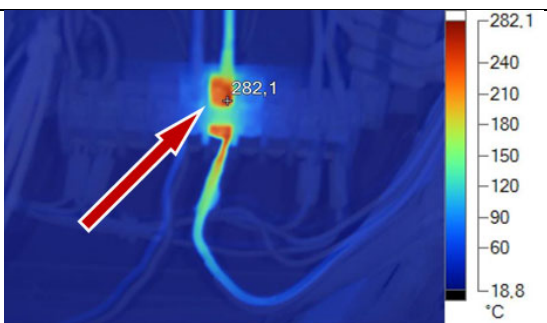
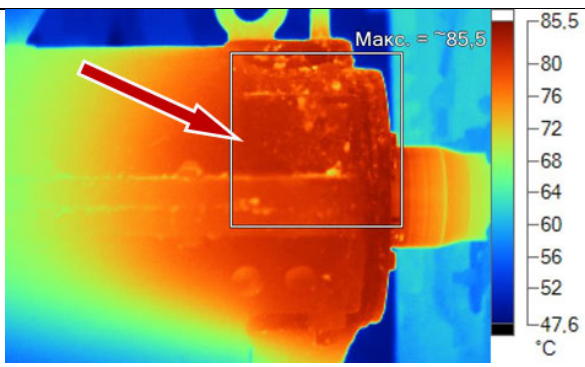
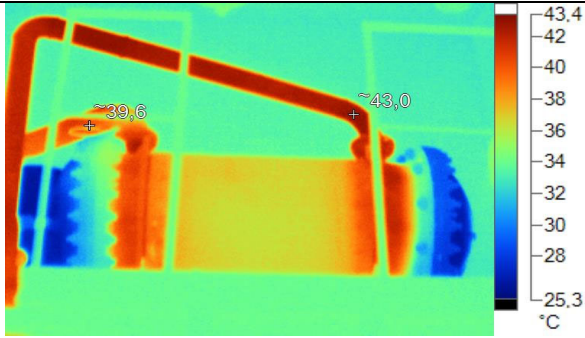
	<p>1. Для знаходження перегрівів контактних з'єднань та запобігання виходу з ладу електрообладнання.</p>
	
	<p>2. Для знаходження перегрівів корпусів підшипників, які визначають наявність дефектів підшипника, мастила.</p>
	<p>3. Для знаходження несправностей у роботі охолоджувального обладнання.</p>

Рисунок 3.12 – Сфери застосування теплового контролю обладнання

	<p>4. Для знаходження підсмоктування холодного повітря, що визначає місця розгерметизації в газоходах. Підсмоктування повітря впливає на зниження продуктивності обладнання та підвищеної витрати енергоносіїв.</p>
	<p>5. Для знаходження втрат тепла, що визначає місця руйнувань футерування або цілісності конструкції.</p>
	<p>6. Для знаходження місць з порушенням температурного розподілу по поверхні, що свідчить про наявність тріщин або розривів.</p>

Продовження рисунку 3.12

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Особливості умов праці у прокатному виробництві

Сучасні прокатні цехи є складними виробничими комплексами, оснащеними різноманітним механічним, електричним і підйомно-транспортним обладнанням, обслуговування якого вимагає чіткого дотримання правил безпеки і норм виробничої санітарії. Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних операцій, інтенсивністю вантажопотоків та різноманітністю метеорологічних умов на різних ділянках.

Безперервність технологічного процесу вимагає одночасного виконання таких різних за характером операцій, як нагрівання, прокатка, транспортування та складування металу. Виконання цих операцій суворо регламентовано у часі як графіком виконання виробничого плану, так і умовами безпеки. Так, недостатнє нагрівання заготовки перед прокаткою може призвести до поломки валків та аварії на стані.

До аналогічних наслідків може призвести і передчасна подача заготовки до стану, її охолодження на приймальному рольгангу. До травмування обслуговуючого персоналу може призвести збільшення швидкості прокатки навіть на одній кліті, оскільки це призведе до обриву розкату або утворення петлі.

Висока інтенсивність виробництва зумовлює і високу інтенсивність праці персоналу прокатних цехів. Протягом робочого дня оператори прокатних станів, що подають і відводять розкат до рольгангів, ріжучих пристроїв, а також машиністи кранів виробляють кілька тисяч одноманітних рухів, отримуючи при цьому інформацію про роботу декількох виробничих операцій. Це призводить до великої розумової втоми, що пов'язано з помилками в управлінні механізмами та виникнення небезпечних ситуацій.

Більшість обладнання прокатних цехів має автоматичні та напівавтоматичні системи управління і продовжує працювати незалежно від виробничої ситуації, що склалася. Це також вимагає швидкого та правильного втручання обслуговуючого персоналу. Чіткі знання і дотримання правил безпеки необхідні обслуговуючого персоналу для оперативного проведення ремонту (в умовах безперервного виробництва) устаткування, що вийшло з ладу.

Окремі ділянки прокатного цеху різко відрізняються одна від одної за метеорологічними умовами. На ділянках нагріву, прокатки та транспортування гарячого металу теплові випромінювання набагато перевищують санітарні норми, має місце знижена вологість повітря, тоді як на інших ділянках температурні умови відповідають зовнішнім.

Велике значення у роботі із забезпечення безпечних умов праці має організація та дотримання вантажопотоків. У напрямку вантажопотоків розрізняють цехи з прямолінійними, прямолінійно поворотними, поворотно поворотними, що перетинаються і роздільними потоками. Найбільш досконалими є цехи з прямолінійними вантажопотоками, в яких стани розташовані паралельно один одному та за напрямом руху металу.

У цехах же з поворотними зворотними вантажопотоками, що перетинаються, зростає небезпека травмування. Тому однією з основних умов безпеки є поділ вантажопотоків за призначенням, щоб уникнути їх перетинів.

У прокатних цехах застосовуються механізми транспортування (електромостові крани, конвеєри, рольганги, шлеппери), залізничний транспорт, внутрішньоцеховий транспорт (електрокари, автонавантажувачі) та автомобільний транспорт [3]. Робота з цими видами транспорту потребує виконання спеціальних правил техніки безпеки. При пересуванні автомашин та автонавантажувачів у прокатному цеху водії зобов'язані стежити за тим, щоб на шляху руху не було перешкод, нагромаджень та

людей. Застосування електрокар допускається при обладнанні їх сигналізацією, гальмами та вимикачем, що діють автоматично.

Для прокатних цехів характерна також велика протяжність і розкиданість механізмів, що обслуговуються, мають дистанційне управління і розташованих на висоті і в підвальних приміщеннях, що, зрозуміло, знижує видимість і чутність світлової і звукової сигналізації, ускладнює прийом попереджувальних сигналів.

Санітарно-гігієнічна характеристика прокатного виробництва

Умови праці в прокатних цехах характеризуються наявністю шкідливих факторів, таких як запиленість, загазованість, тепловипромінювання та шум.

У прокатних цехах багато основних та допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Як показали дослідження, пил прокатних цехів складається в основному з оксидів заліза з домішкою інших речовин: окису кремнію, марганцю та в окремих випадках з легуючих елементів. Зміст різних елементів у пилу пропорційний хімічному складу сталі, що прокатується.

За даними науково-дослідного інституту металургії пил у машині вогневої зачистки металу при зачистці сталей рядових марок містить 73,96% Fe; 0,1% Si; 0,51% Mn; 0,39% S; 26,4% P.

Розмір частинок пилу в прокатному цеху коливається у широких межах. Великі фракції швидко осідають, а дрібні - тривалий час знаходяться в повітрі. Склад пилу в повітрі може відрізнятися від хімічного складу металу, що прокочується, оскільки формування цього пилу йде протягом тривалого періоду. Як правило, склад пилу в повітрі пропорційний середньому хімічному складу прокатного металу за 10 - 12 днів.

Концентрація пилу на різних ділянках цеху залежить від багатьох факторів: конструкції обладнання, що застосовується, профілю та хімічного складу металу, що прокатується, температурного режиму прокатки, ефективності роботи засобів пиловловлення та видалення пилу. Найбільш високий вміст пилу спостерігається в становому прольоті та складі готової продукції.

За відсутності вентиляції концентрація пилу в повітрі безпосередньо у робочих клітин становить, мг/м³:

Блюмінги та слябінги.....615 - 4400

Крупносортні, трубні, листові стани187 - 2420

Дрібносортні, дротяні стани.....70 - 560

На складі готової продукції середня концентрація пилу становить 20 - 40 мг/м³.

Частинки пилу прокатного виробництва мають форму нерівномірних гранул, як правило, з одним або декількома гострими краями. Пил, що утворюється при прокатуванні та оздобленні металу, негативно впливає на організм людини. Медичні спостереження показують, що особи, які постійно працюють в атмосфері, що містить зважений металевий пил, більш схильні до захворювання на грип, бронхіт, гострий катар верхніх дихальних шляхів і запалення легенів.

Іншим фактором, що характеризує санітарно-гігієнічні умови праці у прокатному виробництві, є загазованість. Наявність різних газів в атмосфері прокатних цехів обумовлена порушеннями технологічного режиму, несправністю та недосконалістю обладнання. До основних джерел виділення шкідливих газів відносяться нагрівальні пристрої, прокатні стани, ріжучі механізми та інше технологічне обладнання.

Склад газів в атмосфері на ділянках нагрівальних пристроїв залежить від типу палива, що застосовується, і характеризується такими

компонентами: вуглекислий газ (CO_2), окис вуглецю (CO) і в разі застосування мазуту - сірчистий ангідрид (SO_2).

У прольотах прокатних станів, на ділянках різання та складування металу, крім технологічних тазів, в атмосферу надходить значна кількість газів, що утворюються при згорянні мастильних матеріалів.

Основними заходами щодо зменшення загазованості є такі:

- забезпечення постійного нагляду за дотриманням технологічних інструкцій та інструкцій з техніки безпеки;
- дотримання затверджених технологічних режимів;
- проведення регулярних профілактичних оглядів обладнання та газових комунікацій для своєчасного виявлення витoku тазу;
- забезпечення повного згорання газу та справності системи видалення продуктів згорання [4].

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, що випромінюється нагрітими заготовками та обладнанням стану. Так, у виробничих приміщеннях блюмінгу металургійних заводів теплове навантаження становить у середньому $75 - 80 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, але в ділянках нагрівальних колодязів і робочій кліті блюмінгу питоме теплове навантаження дорівнює 200 ккал і більше. Велика інтенсивність теплового випромінювання має місце на робочих місцях у нагрівальних печей, у прокатних станів, на ділянках ножиць та пилок гарячого різання, а також у штабелів гарячого металу на окладах готової продукції. Наявність численних джерел теплового випромінювання потребує дотримання спеціальних заходів щодо створення на цих ділянках нормальних санітарно-гігієнічних умов.

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми,

супроводжується транспортуванням металу по рольгангу, прокатка його на стані, різання на пилах, вирубування дефектів.

Окремі ручні операції у прокатних цехах пов'язані зі шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечні в цьому відношенні ручна вирубка дефектів на поверхні металу пневматичними зубилами, наждачна зачистка поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту.

Істотне значення для санітарно-гігієнічної характеристики прокатного виробництва мають метеорологічні умови у цеху. Метеорологічні умови у прокатних цехах визначаються температурою, вологістю та рухливістю повітря. Температура повітря на гарячих ділянках прокатних цехів значно перевищує температури зовнішнього повітря.

У спекотні літні місяці температура зовнішнього повітря нерідко перевищує 28°C, у зв'язку з чим несприятливі температурні умови в прокатних цехах негативно впливають на серцево-судинну систему. При низькій температурі зовнішнього повітря виникає небезпека простудних захворювань у робітників, не пов'язаних із роботою на гарячих ділянках. Метеорологічні умови у прокатних цехах характеризуються також наявністю ділянок з високою та низькою вологістю повітря, що негативно впливає на самопочуття та здоров'я людини. При високій вологості повітря та підвищеній його температурі створюються умови для перегрівання організму.

Надмірно низька вологість повітря викликає висихання слизових оболонок верхніх дихальних шляхів, що різко погіршує їхню фільтруючу здатність, а отже, допускає проникнення в легені пилу та мікроорганізмів. Крім того, виникає неприємне відчуття надмірної сухості, що спричиняє підвищене споживання води.

У холодну пору року оптимальна відносна вологість повітря у виробничих приміщеннях повинна становити 40 - 60% і не перевищувати

80%. У теплу пору року при температурі повітря у виробничих приміщеннях 17 - 25°C оптимальна відносна вологість повітря також повинна становити 40 - 60%. За більш високої температури повітря допускається менша відносна вологість.

Рухливість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодну пору року у виробничих приміщеннях прокатних цехів оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною 0,2 - 0,3 м/сек. У літній час допускається швидкість руху повітря 0,3 - 1,5 м/сек, а при значному тепловипромінюванні, коли застосовується повітряне душення, швидкість руху повітря на робочих місцях різко зростає. Проблема створення нормальних метеорологічних умов праці в прокатних цехах повинна вирішуватись у комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень по аерації, щодо застосування припливно-обдувної вентиляції та кондиціювання повітря.

Основні вимоги при проектуванні прокатних цехів

Проектування прокатних цехів ведеться відповідно до Правил безпеки в прокатному виробництві, а також відповідно до чинних санітарних норм і правил. Вимоги зазначених Правил поширюються на заводи-виробники прокатного обладнання. При проектуванні прокатні цехи розміщують на території підприємства таким чином, щоб вони становили послідовне продовження металургійного циклу. Вісь прокатного цеху має бути перпендикулярна напрямку панівних у цій місцевості вітрів.

Рухливість повітря також впливає самопочуття людини. У холодну пору року у виробничих приміщеннях прокатних цехів оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною 0,2—0,3 м/сек. У літній час допускається швидкість руху повітря 0,3-1,5 м/сек, а при значному тепловипромінюванні, коли застосовується повітряне душення,

швидкість руху повітря на робочих місцях різко зростає. Проблема створення нормальних метеорологічних умов праці в прокатних цехах повинна вирішуватись у комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень по аерації, щодо застосування припливно-обдувної вентиляції та кондиціонування повітря.

Конструктивно будинки прокатних цехів не відрізняються від типових. Стіни виконуються із цегляної кладки чи збірного залізобетону. Світлові прорізи по довжині будівлі можуть бути виконані в 2 - 3 ряди. Вікна і прорізи у верхній частині будівлі розташовують на висоті не менше 1,2 м від рівня підкранових шляхів. Світлові отвори в торцевій частині будівлі не є обов'язковими, якщо світлові отвори вздовж будівлі та аераційні ліхтарі створюють нормальну світлову природну освітленість на будь-якій ділянці цеху.

У зв'язку з великими тепловипромінюваннями підвищені вимоги пред'являють до покрівлі будівлі, яка має виконуватися з міцних негорючих матеріалів. Застосування конструкції покрівлі без аераційних ліхтарів небажане.

Корисна площа виробничих будівель прокатних цехів за своїми розмірами має бути такою, щоб забезпечити достатнє освітлення денним світлом, гарне природне провітрювання (аерацію) та задовольняти вимоги безпечного розміщення обладнання з необхідними проходами між ними. Вона повинна забезпечити також можливість вільного транспортування металу, що прокочується, і готової продукції.

Травильні, відділення, а також оцинкувальні та лудильні ділянки повинні бути розташовані в ізолюваному приміщенні.

Нагрівальні пристрої також у більшості цехів ізолюються від інших виробничих приміщень, і взаємодія між ними здійснюється лише з допомогою отворів у стінах. Розміри отворів не повинні допускати

попадання гарячого повітря з прольотів нагрівальних пристроїв до інших виробничих приміщень.

У місцях транспортування металу підлогу прокатних цехів настиляють гладкими металевими плитами, зазор між якими повинен бути відсутнім. Для пересування людей укладають рифлені плити або наносять на гладкі плити точкове наварювання. На складах злитків, заготовок та готового прокату підлогу виконують із кам'яної бруківки, залізобетону або металевих плит. Підлоги допоміжних приміщень прокатних цехів виконують з асфальту, керамічних плиток або дерев'яних шашок.

В'їзні та виїзні ворота в торцях будівлі обладнають повітряними або тепловими завісами та механічним приводом для відкривання та закривання. При цьому доцільним є спорудження блокуючого пристрою, що включає вентилятор повітряної завіси при включенні механізму відкривання воріт. Для безпечного та зручного проходу людей до робочих місць по периметру будівлі влаштовують спеціальні двері. Сучасні багатопрогонові прокатні цехи обладнають підземними пішохідними тунелями, що мають виходи до основних виробничих ділянок та агрегатів.

Уздовж усього цеху з обох зовнішніх боків будівлі прокладають пішохідні тротуари. Усі вільні ділянки території мають озеленятись.

Обслуговування прокатних клітей і сполучальних частин між ними

Безпечне обслуговування клітей прокатних станів, їх допоміжного обладнання та пристроїв досягається за дотримання певних умов. Усі частини стану та їх обладнання повинні бути розташовані так, щоб був безпечний доступ для огляду та ремонту їх, а під час роботи повністю виключалася б можливість зіткнення робітника з частинами обладнання, що обертаються. Усі знову споруджувані та існуючі на деяких заводах

нереверсивні прокатні стани, крім головної з'єднувальної муфти, забезпечені розчіпною муфтою, що дає можливість при нещасних випадках з людьми, при аваріях, а також при необхідності дрібних виправлень швидко відключити стан від двигуна.

При експлуатації прокатних станів можливі наступні види травм: захоплення частин одягу і кінцівок робочого валками або шпинделями, що обертаються, і сполучними муфтами, опіки, а також удари відлітаючими осколками металу, що прокочується, і окалини.

Травматизм у прокатних цехах відбувається головним чином на станах старого типу, де прокатка металу здійснюється із застосуванням ручної праці. Тому для ліквідації травматизму при прокатуванні металу необхідно максимально механізувати та автоматизувати процес прокатки і насамперед завдання металу у валки, а також здійснювати заміну старих станів сучасними.

Щоб уникнути травмування робочих муфтами, що обертаються, і шпинделями всі сполучні шпинделі, муфти і корінні вали прокатних станів огороджують з боків ґратчастими або суцільними щитами або кожухами, а на сортових і дротяних станах муфти і корінні вали огороджують. На високошвидкісних станах, де виникає небезпека розриву сполучних муфт, запобіжні кожухи повинні бути дуже міцними, щоб витримувати удари шматків муфт, що розірвалися.

Травмування робочих муфтами, що обертаються, або шпинделями має місце головним чином після ремонту, коли огороджувальні щити і кожухи ще не встановлені. Щоб унеможливити пуск стану за відсутності огорож муфт і шпинделів, влаштовують автоблокування, що автоматично відключає стан при відсутності огорожі, встановленого на певному місці. Огородження сполучних шпинделів є обов'язковим для всіх прокатних станів, крім блюмінгів та слябінгів, у яких відстань між шпинделями забезпечує безпеку їх обслуговування. Шпинделі цих станів зазвичай

огороджують міцним бар'єром та влаштовують майданчики з поручнями для обслуговування. Іноді в прокатних цехах спостерігаються травми через неправильне кріплення розпірок муфт дротом, коли кінці дроту, що стирчать, захоплюють одяг робочих під час роботи поблизу сполучних шпинделів. Тому кріплення розпірок потрібно проводити не дротом, а особливими хомутами [15].

При ручному регулюванні розчину валків натискними гвинтами пристрої для управління (штурвали) розташовують у безпечному місці - на зовнішній стороні торцевої клітей послідовних і безперервних станів і на передній стороні клітей станів лінійного типу.

Для керування натискними гвинтами застосовують штурвали, так як важелі можуть викликати забиття робітників при втраті самогальмування. Якщо прокатка металу супроводжується зміною розчину між валками, керування натискними гвинтами має бути електрифіковано.

Осьове налаштування валків при розташуванні болтів з торцевої сторони клітей лінійних станів вимагає особливих запобіжних заходів, оскільки поблизу шпинделів створюються дуже небезпечні умови під час регулювання.

Розрив запобіжних стаканів прокатних станів викликає небезпеку травмування робочих осколками, тому стакани огороджують сталевими захисними кільцями. Висота кілець повинна бути не менше ніж в 1,5 раза більша за висоту запобіжного стакану.

Вільні кінці прокатних валків (трефи) в крайніх клітях ліній стану закривають знімними чохлами або ковпаками, щоб уникнути травмування робітників.

Між прокатними станами та приміщеннями для двигунів повинна бути обладнана звукова або світлова сигналізація, що надійно діє. Пуск у хід і зупинка двигуна проводяться лише після отримання відповідного сигналу зі стану, причому про пуск двигуна подається суворо встановлений сигнал,

який ясно чується на всіх робочих місцях. Встановлені сигнали у всіх випадках, крім аварійних, повинні подаватися тільки старшими робітниками, які несуть відповідальність за сигнали, що подаються.

До подачі сигналу про пуск стану майстер або старший вальцівник зобов'язаний перевірити справність стану та всіх його захисних і запобіжних пристроїв і з'ясувати, чи немає робочого поблизу частин стану, що обертається. Тільки після перевірки стану та видалення людей з небезпечних місць може бути дано сигнал про запуск двигунів.

При обертанні валків за допомогою електричних двигунів на робочих місцях стану повинні бути влаштовані аварійні вимикачі.

Для переходу людей через головний сполучний вал кожної лінії прокатних станів влаштовують перехідні містки, захищені від попадання гарячого металу суцільними бар'єрами. На безперервних станах замість окремих містків через сполучні вали кожної кліти влаштовують один суцільний місток вздовж усіх клітей зі спусками до кожної з них. Перехідні містки влаштовують перед другою чорною кліткою, між чорновими клітками, між групами клітей після останньої чистової кліти. Влаштування містків має відповідати вимогам Правил безпеки у прокатному виробництві. Якщо виникає небезпека вигину розкату вгору або вбік, перехідні містки необхідно захищати з боку розкату міцним запобіжним щитом з листового металу заввишки не менше 1,8 м.

Рольганги, що відводять від останньої кліти дрібносортовних станів, огорожують міцними суцільними бортами висотою не менше 300 мм, причому з боку проходів зазначені борти повинні мати нахил або вигин, що перешкоджає вискакуванню штаби, що рухається. У тих випадках, коли прокатка проводиться з великою швидкістю і на рольгангах, що відводять, можливе утворення петлі, над ними влаштовують ковпакоподібні сітчасті огороження знімного або розсувного типу [5, 16].

Якщо між окремими клітями безперервних сортових станів відсутні столи з направляючими жолобами, то між клітями мають бути встановлені надійні огорожі, що унеможливають прохід людей.

Для запобігання виходу розкату у бік прокатне поле на сортових станах лінійного типу огорожується міцними суцільними бортами з нахилом у бік розкату.

Виправлення валкової арматури та інших деталей кліті на ходу є небезпечним і неприпустимим. При обертанні валків перевіряти калібри та зазори між валками можна тільки у напрямку, протилежному захвату, під час перерв у процесі прокатки, обов'язково користуючись спеціальними пристроями з довгими рукоятками.

Операція контролю розмірів прокату вручну в процесі прокатки надзвичайно небезпечна, тому необхідно впроваджувати дистанційний контроль.

Для безпечного доступу до механізмів великих та середніх клітей прокатних станів слід влаштовувати майданчики зі сходами та поручнями. При обслуговуванні невеликих клітей застосовують тимчасові майданчики та сходи.

На станах лінійного типу за наявності довгих розкатів або петель і за відсутності на станах достатніх площ, влаштовують підвісні жолоби або підземні кишені з розширенням гирла і в необхідних випадках з установкою роликів.

Устя приймальних жолобів перекривають таким чином, щоб виключити можливість викиду металу, що прокочується через борт жолоба, з цією метою жолоби перекривають не тільки збоку, але і зверху.

Щоб уникнути попадання кінців розкату в зазори між стиками листи чи плити жолобів чи кишень повинні прилягати щільно друг до друга. Кишені, розташовані поряд, необхідно відокремлювати стінками. Для усунення випадків вискакування петель металу з вивідного жолоба кишені,

а також для запобігання ударам кінцем розкату, перед клітьми дрібносортних і дротяних лінійних станів встановлюють ударні коробки простої та надійної конструкції.

Жолоби, що служать для передачі металу від однієї лінії клітей до іншої, для запобігання вискакуванню петель щільно накриваються кришками.

Для доступу до механізмів, розташованих нагорі, робочі кліті всіх прокатних станів (виключаючи невеликі дрібносортні, дротяні та тонколистові кліті), що обслуговуються з підлоги, обладнуються спеціальними майданчиками, огороженими поручнями та нижньою бортовою обшивкою. Для доступу на верх клітей влаштовують похилі стаціонарні сходи. На станах старого типу встановлення таких сходів неможливе, тому застосовують переносні сходи.

Регулювання валків безперервних станів зазвичай провадиться із зовнішнього боку клітей. Доступ до клітей повинен бути безпечним та зручним.

На станах лінійного типу настил підлоги в місцях прокатки і прибирання металу від стану влаштовують з гладких металевих плит, щоб уникнути застрягання кінця розкату і утворення петлі в щілинах на стиках плит, що нещільно прилягають одна до одної.

Підлогу на робочих місцях вальцівників виконують із рифлених плит або з металевих плит, що мають точкове наварювання.

Для забезпечення безпечного пересування людей по цеху передбачаються спеціальні проходи, надійно захищені від розкату, що рухається. Для проходів упоперек прольотів через рольганги, стелажі та холодильники влаштовують перехідні містки, захищені від ударів розкатом та тепловипромінювання. У великих цехах влаштовують поперечні тунелі з виходами до окремих станів і санітарно-побутових приміщень цеху.

Підлоги необхідно систематично очищати від пилу, окалини та розливої олії. Запасну валкову арматуру, валки та інше прокатне обладнання необхідно акуратно складувати на стелажі у відведених місцях цеху [5].

Техніка безпеки при обслуговуванні листових прокатних станів

В даний час для гарячої прокатки листової сталі на вітчизняних та зарубіжних заводах застосовують такі стани: лінійного типу, безперервної та напівбезперервної дії, а також стани з моталками в печах. На старих металургійних заводах ще є одноклітинні товстолистові тривалкові стани. У нових цехах стани цього типу не встановлюють, а існуючі стани значно модернізують, включаючи перебудову їх у двоклітьові з чистовими клітями кварто.

Основною небезпекою при прокатуванні листів є відлітання частинок металу від злитків, що містять усадкову раковину. Від зіткнення розплавленого шлаку, що міститься в усадковій раковині, з водою, що охолоджує валки, відбувається вибух. Силою цього вибуху від кінця листа відриваються уламки і відкидаються від стану. Для запобігання відлітанням осколків металу товсті та середні листи безпечно прокочувати зі слябів, причому після прокатки на слябінгах величина обрізу розкату повинна виключати залишки усадкової раковини.

Часто причиною розкидання уламків металу при останніх проходах листа є роздавлювання газових бульбашок, що містяться в злитках або слябах. Щоб уникнути появи в злитку бульбашок виливання ведуть з прибутковими надставками та підігрівом. Крім уламків металу, травмуючим фактором при прокатці товстих і середніх листів є частки окалини, що відлітає, і частки шлаку. Для скорочення утворення окалини нагрівання слябів та злитків у печах ведуть без доступу повітря (безокислювальне нагрівання). Крім того, окалину перед подачею до стану видаляють з

поверхні слябів або злитків за допомогою окалинзламувача або пристрою для гідравлічного збивання окалини [13, 17].

Для захисту від уламків металу, окалини та шлаку, що відлітають при прокатці, з обох боків клітей стану встановлюють запобіжні щити та огороження. На станах тріо, обладнаних підйомними столами, щити повинні автоматично опускатися та підніматися залежно від положення столу.

Для забезпечення безпечних умов праці операторів станів пульти управління розташовують збоку від рольгангів, що підводять. '

На листових станах, де валки не закриті арматурою, можуть бути випадки захоплення рук або ніг робочих валками, особливо в момент налаштування клітей або проведення дрібних ремонтів. Тому неприпустимо виконувати ремонт на ходу стану. При налаштуванні клітей та ремонті перед валками встановлюють запобіжний щит. На сучасних станах керування клинами для налаштування валків здійснюється за допомогою штурвалів, винесених на торцеву сторону кліті.

Охолодження валків роблять за допомогою порожнистих коробок, вставлених у подушки, або металевих трубок з отворами. На сучасних станах замість охолодження шийок валків застосовують централізоване мастило.

Для повороту та напряму слябів у валки застосовують відповідні механізми. Для транспортування листів від станів до агрегатів обробки застосовують рольганги, ланцюгові транспортери, шлеппери.

При прокатуванні товстих і середніх листів на станах тріо серйозну небезпеку становить падіння кінців листів з підйомних столів. Тому підйомні столи обладнують бортами достатньої висоти і бічними роликами, що перешкоджають падінню кінців листа зі столу, причому в бортах влаштовують вирізи для того, щоб була можливість підправляти листи [16].

Роботи з видалення дефектів із поверхні листів проводять лише у холодному стані. Поверхню листів зачищають абразивними колами з захисними кожухами. Всі кола перед установкою випробовують, корпуси абразивних агрегатів заземлюють, ручки покривають ізоляційним матеріалом. Робітники забезпечуються захисними окулярами.

Інспекторський огляд та розмітку листів проводять після їх охолодження до температури не вище 60 - 70°C. Інспекторські столи забезпечуються нормальною аерацією або штучним припливом свіжого очищеного повітря. Плитові настили інспекторських столів мають отвори шириною трохи більше 60 мм для кращого охолодження листів. Для пересування людей краями інспекторських столів влаштовують ходові доріжки з поручнями, а для переходу через інспекторські столи влаштовують перехідні містки. Огляд, розмітку дефектів, маркування та таврування листів здійснюють з майданчиків та містків.

Ділянку, де проводиться огляд, кантування та розмітка листів висвітлюють розсіяним світлом відповідно до чинних норм. Ділянку рольгангу, призначену для розмітки, забезпечують окремим приводом. Операції розмітки, маркування та таврування листів необхідно механізувати. У разі застосування ручної розмітки робітників забезпечують вимірювальним інструментом з пристроями, що виключають необхідність дотику руками до листів.

У зв'язку зі збільшеними потребами народного господарства в тонколистовому металі, останнім часом набули широкого поширення повністю механізовані та автоматизовані безперервні тонколистові стани. Для захисту від окалини, що відлітає, і бризок води окалиноломателі і пристрої для гідрозбиву на тонколистових станах ретельно огорожують щитами. Для видалення пилу, що утворюється при прокатці листів, робочі кліті забезпечують форсунками для гідрообезпилювання, а також кожухами

з пиловідсмоктуючою вентиляцією. Пристрій гідрозбивання окалини включається автоматично при підході сутунки.

Щоб запобігти притисканню і зачіпанню ніг розкочуванням листів, забороняється ставати на проводки і проводкові столи і проходити по них. Для переходу на інший бік клітей між кожною чорною та чистою клітями обладнають перехідні містки.

Іноді листи, що виходять з тонколистових станів, утворюють на холодильниках небезпечні петлі, що піднімаються. Для ліквідації подібних випадків рольганги холодильників обладнають так, щоб застрягання переднього кінця листа, що виходить із стану, було виключено. Недокат та браковані листи повинні негайно забиратися з холодильників після попереднього різання їх на частини [5].

Підвал, де встановлені моталки, огороджують перилами. Для доступу до окремих моталок влаштовують безпечний прохід, захищений від механізмів моталок сітками висотою не менше 2 м з дверима, що замикаються на замок і зблокованими з приводами моталок так, щоб доступ до моталок був виключений під час їх роботи. Чищення роликів моталок від металевих нальоту здійснюють механічно за допомогою спеціально встановлених скребків.

Тунелі для транспортування гарячих рулонів повинні мати прохід шириною не менше 1 м між однією зі стінок та конвеєром. Для провітрювання у склепінні тунелю (як зовні, так і всередині будівлі) через кожні 5-6 м влаштовують витяжні шахти висотою 3-4 м і перетином 3×2 м. Для припливу свіжого повітря збоку тунелю в шаховому порядку з витяжними шахтами обладнують вентиляційні колодязі розміром 5×1 м, закриті ґратами. Така схема провітрювання досить ефективна. Захист від тепловипромінювання у першій половині конвеєра, рахуючи від моталки, здійснюють за допомогою підвісних щитів.

При розташуванні конвеєра у відкритій траншеї бортами останньої влаштовують перила з суцільною обшивкою внизу на висоту не менше 180 мм. Транспортування сутунки за допомогою підвісних шляхів обладнають стрілками з автоматичними вимикачами, які у разі несправного положення стрілки забезпечують зупинку електровізка.

Прокатка тонколистового металу на лінійних станах проводиться ще на деяких старих заводах. Стани такої конструкції реконструюють, застосовуючи механізацію, насамперед при розвантаженні та укладанні сутунки на складі, а також при подачі її зі складів до печей. При застосуванні для транспортування сутунки мостових кранів обладнають їх спеціальними захоплюючими пристосуваннями для підйому і транспортування всього штабеля сутунки.

Для нагрівання сутунки та пакетів на тонколистових станах застосовують методичні або конвеєрні печі з механізованою посадкою та видачею заготовок. На існуючих камерних печах подача та видача сутунки механізована. Конвеєрні печі та печі з крокуючим подом обладнають витяжними парасольками та трубами, що забезпечують видалення продуктів згоряння.

Контрвантаж крокуючого поду печей, зірочки конвеєрних ланцюгів у завантажувальній і розвантажувальній частині огорожують з боків і торців. Вхід у підвал конвеєрних печей та печей з крокуючим подом замикають на замок, і ключ є жетоном для доступу до підвалу.

Подача сутунки та розкату від печей до клітей і назад проводиться транспортерами. Всі старі тонколистові стани обладнані підйомними столами для подачі сутунки та розкату у валки та передачі їх із заднього боку кліті на передній.

При прокатуванні тонких листів на лінійних станах (при завданні сутунки у валки, налаштуванні кліті та змащуванні шийок валків) основну небезпеку становить захват валками, оскільки зів валків таких станів не

огорожений, а прокатку здійснюють вручну. Змащування шийок валків вручну густою масою при гарячій прокатці пов'язане з небезпекою захоплення не тільки валками, а й сполучними шпинделями та муфтами, а іноді й вільними кінцями валків. Крім того, мастило при гарячій прокатці створює велику загазованість, що може призвести до спалювання та отруєння. Щоб уникнути цього на ряді заводів, прокатку успішно ведуть холодними валками із застосуванням централізованого мастила для їх шийок, або текстолітових підшипників, що охолоджуються водою.

Ручне змащення шийок валків в умовах гарячої прокатки виконують з боку шпинделів або вільних кінців валків (а не з боку їх бочки) та з боку, протилежного до обертання валків, за допомогою довгих дерев'яних жердин. У таких випадках для доступу до шийок валків в огорожувальних кожухах сполучних шпинделів і вільних кінців валків влаштовують отвори, через які змащування здійснюється без зняття огорожі. Натискні пристрої тонколистових станів майже всюди електрифіковані. Застосування важелів та ручних штурвалів для керування натискними гвинтами неприпустимо.

На деяких заводах у цехах тонколистової прокатки для запобігання зварюванню листів під час прокатки їх посипають тирсою або дрібним деревним вугіллям. Внаслідок горіння тирси та вугілля виділяється велика кількість продуктів згоряння в атмосферу виробничого приміщення та різко збільшується вміст окису вуглецю, який у значних кількостях виділяється при горінні мастила під час гарячої прокатки. Тому велике значення для нормалізації санітарно-гігієнічних умов праці таких цехах має ефективна робота аераційних пристроїв. Якщо аерація є недостатньо ефективним засобом, кліті станів обладнають витяжними парасольками та потужною механічною вентиляцією.

Іноді застосовують інші заходи запобігання зварюванню листів за допомогою занурення їх у ванни з графітом або із сірчаною кислотою. При цьому повинні бути вжиті спеціальні заходи, які забезпечують безпеку та

покращення умов праці. Робочі майданчики біля тонколистових станів обладнають обдувною вентиляцією з охолодженням повітря влітку.

Крім вентиляції, для зниження температури повітря робочу площу між печами та клітьми стану, а також з задньої сторони клітей викладають порожнистими плитами, що охолоджуються проточною водою. Підлогу у місцях укладання гарячих листів також покривають плитами з отворами для припливу холодного повітря. Іноді застосовують плити із внутрішнім водяним охолодженням.

Прибирання листів від стану, подачу їх до ножиць та правильних машин, а також видачу на склад здійснюють механізованим способом. У разі збирання листів краном захоплення штабеля роблять за допомогою самозахоплюючих пристроїв.

Для зменшення порізів та полегшення роботи сортувальників застосовують автоматичні укладачі або пристрої для укладання листів у стопи [5, 7].

4.2 Розробка заходів захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Роботи на стані пов'язані з низкою шкідливих і виробничих факторів. На ділянці прокатного стана – це, такі фактори, як шум при роботі клітей, а також при змотуванні штаб на моталках. Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха, беруші і шумові навушники. В табл. 4.5, 4.6 приведені технічні рішення по виробничій санітарії.

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

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

Таблиця 4.6 – Технічні рішення по виробничій санітарії

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

ВИСНОВКИ

1. У розділі 1 наведено математичні моделі формування площинності штаб на основних агрегатах цеху холодної прокатки. Визначено засоби та канали, які можуть бути використані при регулюванні площинності штаб на сучасних безперервних та дресирувальних прокатних станах. Наведено формули та виконано розрахунок верстатних профілювань валків станів холодної прокатки, яке визначається залежно від типорозміру штаб, що прокочуються (ширини, товщини і марки сталі).

Докладно розглянута система автоматичного регулювання площинності штаб на прикладі п'ятиклітинного стану 2030 нескінченної прокатки. Показано, що локальна неплочинність холоднокатаних штаб є бракувальною ознакою готового прокату та однією з причин утворення дефектів поверхні таких, як "штаби-лінії ковзання", "плями злипання зварювання" при обробці в лінії ковпакових печей.

Наведено алгоритм визначення локальних потовщень на підкаті, схему автоматичного пристрою для зниження локальної неплочинності холоднокатаних штаб. Описано тактичний і оперативний рівень комбінованого регулювання площинності штаб на дресирувальному стані.

Зазначені заходи дозволять значно покращити якість продукції, знизити втрати металу та енергетичні витрати.

2. У розділі 2 виконано розрахунок і конструювання головної лінії прокатної кліти холодної та гарячої прокатки. Алгоритм розрахунку ілюстрований прикладами і містить близько 400 параметрів, позначених ідентифікаторами у вигляді літер і букв з індексами. Наведено характеристики валків станів гарячої та холодної прокатки. Розрахована виробнича програма та режими роботи кліти, визначено розрахункові навантаження.

3. У розділі 3 виконано проектування прокатної кліті, конструювання подушок, підшипникового вузла та станини прокатної кліті. Наведено креслення робочого валка з подушкою, опорного валка, станини, компоновання елементів у вікні станини, конструкції подушок та підшипникових вузлів опорного валка. Виконано вибір та дана характеристика мастил для підшипників рідкісного тертя, наведено графіки навантажувальної здатності підшипників.

4. У розділі 3 виконано дослідження роботи лінії неперервного травлення гарячекатаних рулонів у цеху холодної прокатки ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Дана характеристика сірчаноокислотних травильних ліній НТА-1, НТА-2 і НТА-3, які експлуатувалися до реконструкції і мали суттєві недоліки, що призвело до впровадження солянокислотної схеми травлення гарячекатаних рулонів НТА-4. Досліджено склад обладнання вхідної частини, технологічної частини і вихідної ділянки НТА-4. Дана характеристика схеми регенерації соляної кислоти, що суттєво покращило екологічний стан на комбінаті і в цілому у м. Запоріжжя. Наведено схеми основного обладнання НТА-4.

5. У розділі 3 наведено організацію виробництва на ПАТ «Запоріжсталь», а саме принципи превентивного обслуговування обладнання, переваги і недоліки різних стратегій ремонтів обладнання. Дана характеристика технічної діагностики, наведено методи діагностики обладнання, що використовуються на комбінаті. Наведено сфери застосування теплового контролю обладнання і прилади, які використовуються для цього.

6. У розділі 4 «Охорона праці та техногенна безпека» виконано аналіз особливостей умов праці у прокатному виробництві. Розроблено заходи захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Наведено заходи з пожежної та техногенної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.
2. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley and Sons, Inc. 2000. Canada.
3. Проценко В. М., Белоконь Ю. О. Технологія виготовлення гнутих профілів : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістр спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском" Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 104 с.
4. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.
5. Проценко В. М., Бондаренко Ю. В., Явтушенко А. В. Технологія нагріву та нагрівальне обладнання в обробці металів тиском : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 126 с.
6. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.
7. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.
8. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

9. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для здобувачів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
10. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.
11. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation center when rolling a metal strip. *Journal of Engineering Sciences*, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.
12. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.
13. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 ”Обробка металів тиском”. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.
14. Проценко В. М. Теорія та технологія точної прокатки штаб : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 40 с.
15. Проценко В. М. Профілювання валків листових станів : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 42 с.

16. Серода Б. П., Проценко В. М. Виготовлення спеціальних видів прокату : навчально-методичний посібник для здобувачів ЗДІА спеціальності 7.090404 "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 88 с.
17. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі «AutoCAD Mechanical». Металургія : Збірник наукових праць. Запоріжжя , 2018. Вип. 2 (40). С. 85 – 90.
18. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V, Bondarenko Y, Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. Conference Proceedings – METAL 2020. 29th International Conference on Metallurgy and Materials. May 20 - 22, 2020, Brno, Czech Republic, EU. P. 440 – 445. <https://www.confer.cz/metal/2020/3500-mathematical-modeling-of-physical-properties-of-anisotropic-materials>. (Дата звернення: 15.09.2023).
19. Таратуга К.В., Проценко В.М., Востоцький С.М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2023). 25-26 травня 2023 року. Черкаси. С 40 – 42. https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book_ІМТСК_2023.pdf. (Дата звернення: 15.09.2023).
20. Румянцев В. Р., Кутузова І. О. Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 132 с.
21. ДСТУ 8302 : 2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
22. ДСТУ 3008 : 2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [На заміну ДСТУ 3008-95. Чинний від 2017-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1995. 26 с. (Інформація та документація).

ДОДАТОК А

Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні



**III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

17-20 жовтня 2023 року



УДК 621.771 (076)

Проценко В.М., к.т.н., доц., Порвишерст М.Ю., магістрант 2 курсу,
Науковий керівник – к.т.н., доцент Проценко В.М.

ФОРМУВАННЯ ПЛОЩИННОСТІ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ З МЕТОЮ ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ В УМОВАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ

*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету,
кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

На сучасних безперервних та дресирувальних станах холодної прокатки існують такі основні засоби та канали, які можуть бути використані при регулюванні площинності штаб, що є актуальною задачею стосовно підвищення якості продукції:

- 1) гідровигин робочих валків та його перекис у вертикальній площині – оперативні канали, функціонуючі у темпі з процесом прокатки;
- 2) диференційована подача охолоджуючої рідини по довжині бочки валків – менш оперативний (інерційний) канал, який також функціонує у темпі з процесом прокатки;
- 3) верстатні профілювання валків - не можуть змінюватися в процесі прокатки;
- 4) режим прокатки, дресування (швидкість, натяг, обтискання) – непрямий канал, який може бути використаний при регулюванні площинності за рахунок можливості зміни деформаційних умов по ширині штаби (збільшення або зменшення прогину валків, тобто збільшення або зменшення обтискання на краях штаби та досягнення протилежного ефекту в її середній частині).

Метою магістерської роботи є розробка заходів щодо формування площинності листового прокату з метою її покращення в умовах холодної прокатки штаб.

Верстатне профілювання робочих валків визначається залежно від типорозміру штаб, що прокочуються (ширини, товщини і марки сталі). У процесі прокатки вихідним верстатним профілюванням керувати неможливо. Тому необхідно передбачити можливість регулювання площинності на вузьких ділянках за шириною штаб. Пропонується включити до системи автоматичного регулювання площинності на станах холодної прокатки додатковий канал, що функціонує за принципом "розімкнутого" управління – за впливом.

Список використаних джерел

1. A. V. Yavtushenko, V. M. Protsenko, Yu. A. Belokon and Yu. V. Bondarenko. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.