

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

( назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти магістерський

(другий (магістерський) рівень)

на тему Вдосконалення процесу прокатування штаб на стані 1680  
зادля зменшення поперечної різнотовщинності

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Ляшенко Гліб Вікторович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

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

Ляшенко Гліб Вікторович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вдосконалення процесу прокатування штаб на стані 1680  
задля зменшення поперечної різнотовщинності

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

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

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) вдосконалити стан першого покоління в умовах  
ПАТ «Запоріжсталь» для зменшення поперечної різнотовщинності при виготовленні  
широких штаб дозволять підвищити якість готової продукції

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
*Креслення, презентаційний матеріал 12 слайдах (на 12 сторінках)*

---

---

---

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 17.09.2023

---

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент \_\_\_\_\_ *Г.В. Ляшенко*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи: 81 с., 15 рис., 18 табл., 33 джерела.

Об'єкт вивчення - поперечна різнотовщинність при виготовленні широких штаб.

Мета роботи – вдосконалити стан першого покоління в умовах ПАТ «Запоріжсталь» для зменшення поперечної різнотовщинності при виготовленні широких штаб дозволять підвищити якість готової продукції

Метод дослідження – стандартні методики розрахунку режиму деформації та енергосилових параметрів при листовій гарячій прокатці.

Отримані результати та новий стан, спроектований шляхом видалення чорнової групи клітей у ШСГП 1680, та сполучення чистої групи клітей з ливарно-прокатним агрегатом, що дозволяє отримати кращу якість поверхні прокатоного листа і знизити енергетичні та економічні витрати на виробництво.

Результати роботи можуть бути використані на широкоштабовому стані гарячої прокатки в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ЛИВАРНО-ПРОКАТНИЙ АГРЕГАТ, ШИРОКОПОЛОСНИЙ СТАН, ТОНКИЙ СЛЯБ, ТОНКИЙ ЛИСТ, МАШИНА НЕПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТІВЛІ, КРИСТАЛІЗАТОР, ВАЛКИ, КЛІТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ.....	7
1.1 Коротка характеристика прокатки на ШСГП 1680.....	7
1.2 Проміжний перемотуючий пристрій «Койл-бокс».....	12
1.3 Дослідження зношування і поперечної різнотовщинності при існуючому процесі прокатки.....	17
2 ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ПОПЕРЕЧНУ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ.....	29
2.1 Профілірування валків.....	29
2.2 Прогин валків.....	35
2.3 Зношування валків.....	39
2.4 Нерівномірній розподіл погонних сил на міжвалковому контакті і під половою.....	41
3 ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ.....	44
3.1 Встановити на проміжному рольгангові до і після койл-боксу, до - теплоізолюючі екрани, після – нагрівні печі.....	44
3.2 Підвищити якість робочих та опорних валків.....	44
3.3 Встановити робочі валки S-подібної форми(система SVC).....	52
ВИСНОВОК.....	54
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	56
5.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища.....	56
5.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху гарячої прокатки.....	61
5.2.1 Вентиляція і кондиціонування повітря.....	61

5.2.2 Освітлення в цеху.....	64
5.2.3 Захист від виробничого випромінювання .....	66
5.2.4 Захист від виробничого пилу.....	67
5.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації.....	68
5.3 Заходи з електробезпеки.....	69
5.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки.....	71
5.5 Розрахунок шумоізоляції кабіни оператора стана «1680».....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	78

## ВСТУП

Поперечна різнотовщинність і площинність штабового металу обумовлені вхідними факторами. До основних з них слід віднести поперечну різнотовщинність підкату, нерівномірність механічних властивостей по ширині штаби, відповідність профілювання валків умовам їх навантаження, нерівномірність зносу профілю активної утворює валків. Якість профілю штаби під дією зазначених факторів формується головним чином при гарячій прокатці. Холодна прокатка мало змінює відносну величину поперечної різнотовщинності, але надає істотний вплив на площину штаби і в цьому питанні важлива роль належить раціональній профілізації валкового вузла і забезпечення мінімальної нерівномірності зносу поверхонь валків.

Найбільш помітним рішенням у розробці профілювання стало застосування опорних валків з крайовими скосами. Така форма опорного валка усунула зацімлення кромek прокатуваної штаби. Розширення цього ефекту передбачало пропозицію про виготовлення опорних валків з двома кінцевими скосами, причому внутрішній скіс переходить в циліндричну частину валка на ділянці довжини бочки менше ширини штаби. Випробовували робочі валки з неглибокими виїмками в місцях передбачуваного максимального зносу, які забезпечували підвищення площинності холоднокатаних штаб. Потім були висунуті ідеї профілювання валків листових станів із застосуванням їх утворюють у вигляді параболи вищого порядку і більш складних форм, профілювання опорних валків у процесі їх експлуатації, різного профілювання валкових вузлів по клітям безперервного стану. У зв'язку з цим є актуальним узагальнення аналітичних форм вихідної профілювання валків на інтенсивність і нерівномірність розподілу міжвалкового і погонних тисків, на нерівномірність зношування валків і якість профілю штаб.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТУВАННЯ ШТАБ

## *1.1 Коротка характеристика прокатки на ШСГП 1680*

Неперервний стан 1680 гарячої прокатки штаб побудований (рис. 1.1) в тридцять років 20го століття. На цьому стані прокатують штаби товщиною 1,5 - 8 мм, шириною 1000 - 1500мм з маловуглецевих марок сталі. З нержавіючих і легованих марок сталей прокатують також штаби товщиною  $h > 3,5$  мм і шириною  $B < 1300$  мм. Заготівлею для стана служать сляби товщиною 120 - 165 мм, масою  $G = 5,5$  т і довжиною  $L_{сл} = 4,5 - 4,7$  м, з яких прокатують штаби товщиною  $h < 2,5$  мм ( $B 1000$  мм), а з слябів масою  $G < 15$  т і довжиною  $L_{сл} = 9 - 9,3$  м прокатують штаби товщиною  $h > 2,5$  мм.[1]

На стані встановлено п'ять методичних чотирьохзонних печей з глісажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового та природного газів, калорійністю 1070 - 1350 ккал/м<sup>3</sup>. Проте в зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використовуються періодично 1 - 2 печі для прокатки зворотніх або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл 1 і по рольгангу 2 до печей. Посадка слябів в печі 3, 4 виконується штовхачами 5. Одночасно з печей видають нагріті сляби на нижній пічний рольганг 6. На поверхні сляба завжди є товстий (4 - 6 мм) шар пічної окалини, злом якої виробляється в двухвалковому окалиноломачі 8 при стисненні сляба на 20 - 25 мм.[1]

В чорновій групі встановлено чотири кліті: кліть 1 з робочими валками діаметром 940 мм і опорними 1320 мм; кліть 2 - з робочими валками діаметром 850 мм і опорними - 1240 мм; кліті 3, 4 - з валками діаметром відповідно 580 - 590 і 1240 мм. Всі опорні валки і робочі валки клітей 1 і 2 виготовлені зі сталі марки 9ХФ. У клітях 3 і 4 використовують робочі валки, виготовлені з чавуну з вибіленою поверхнею.



Потужність двигуна клітей з горизонтальними валками дорівнює (кВт): кліть 1 - 6300; 2 - 4 - по 4000 кВт, а окружна швидкість робочих валків клітей: 1 - 0,9 - 1,09; 2 - 1,04 - 1,14; 3 - 0 - 1,84; 4 -  $v_4 = 2,53$  м / с. В чорновій групі застосовується неперервна прокатка слябів довжиною 9 - 9,5 м по такому режиму: окалиноломач - кліть 1, кліті 2 - 3 і кліті 3 - 4. Розкат виходить повністю з кліті 1 і тільки потім прокочується в групі клітей 2 - 3. В клітях 3- 4 розкат прокочують після виходу з кліті 2. При вході в кліть 1 температура розкату більше 1150 – 1180<sup>0</sup>С, а в міру прокатки температура переднього кінця розкату зменшується і за кліттю 4 становить 1080 – 1130<sup>0</sup>С (розкат подвійної маси). Перепад температури по довжині розкату 10-15<sup>0</sup>С.

Максимальні величини обтиснень в кожній кліті встановлюють з урахуванням допускаємих кутів захоплення розкату валками, міцності валків і допускаємого крутного моменту. Відповідно до зазначених умов в клітях чорнової групи допускаються відносні обтиски для вуглецевих і низьколегованих марок сталей рівні (%):[1]

Кліть	[ε]	Кліть	[ε]
1	35-37	3	37-40
2	37-40	4	37-40

Менші величини ε відносяться для штаб з шириною  $B > 1250$  мм. У клітях з вертикальними валками усувають лише уширення металу в попередній кліті. Розкат, який вийшов з кліті 4, по проміжному рольгангу довжиною 65м проходить летючі ножиці, які відрізають дефектний передній кінець, чистовий окалиноломач 13 для виламування вторинної (повітряної) окалини і захоплюється робочими валками кліті 5 чистової групи 14. В чистову групу надходять розкати товщиною 28мм (розкати довжиною 9 - 9,5м) і товщиною 20-23мм (розкати довжиною 4-4,7 м). При роботі проміжного перемотувального пристрою (ППУ) 11 розкат змотують в рулон, а потім передній кінець рулону задають в першу кліть чистової групи. У цьому випадку перед чистовим

окалиноломачем температура розкату складає 1020-1050 °С, а заднього 920-970 °С. Після окалиноломача температура розкату знижується на 15-20°С.

В чистовій групі встановлено шість однотипних чотирьохвалковиз клітей (кліті 5 - 10) з вихідними діаметрами робочих валків 620 мм (двошарові чавунні валки з вибіленим шаром марок ЛПХНд - (70 - 73) (литі прокатні хромонікелеєві з твердістю 70 - 73 HSD - по Шору). Опорні валки з кованої сталі марки 9 ХФ з твердістю поверхні 35-40 HSD. Між клітями встановлені ролики петлетримачів, працюючі в період прокатки в клітях переднього кінця штаби. Робочі валки клітей приводяться від двигунів потужністю 7000 кВт з тиристорним керуванням. Максимальна практична швидкість прокатки в кліті 10 складає  $v_{10} < 9,2$  м / с, а в попередніх клітях окружні швидкості відповідно до закону сталості секундних об'ємів металу визначають за виразами:

$$v_9 = v_{10} h_{10} / h_9; v_8 = v_{10} h_{10} / h_8; v_7 = v_{10} h_{10} / h_7 \text{ і т. д.}$$

Після захвату валками кліті 5 передній кінець прокатується в подальших клітях, а після виходу заднього кінця з кліті 5 штаба послідовно виходить з клітей чистової групи. Таким чином, кінцеві ділянки штаби прокатується на стані без натягування, тоді як в сталому процесі (штаба знаходиться у всіх клітях стану) штаба прокатується з невеликим натягуванням ( $\sigma_n = 10-30$  Н / мм<sup>2</sup>), що менше напруги течії металу при відповідних температурах. У разі якщо напруга натягу досягне напруги течії, відбувається втягування штаби по ширині.

У процесі проходження штаби від кліті до кліті, температура металу знижується за рахунок відбору тепла навколишнім середовищем, водою і валками (рис. 1.2). Інтенсивність зниження температури по клітям чистової групи тим більше, чим менше товщина штаби. Мінімальна температура штаби товщиною  $h = 2$  мм за кліттю 10 дорівнює 850°С, а штаби товщиною  $h = 1.5$  мм- 800-825°С. При вході підкату в кліть 5 температура його переднього кінця максимальна, а температура заднього кінця, який входить до кліть 5 пізніше (через 50-60с), виявляється нижче на 60 – 90°С (без Койл-бокс). Отже, відсутність натягу кінців при прокатці і наявності температурного клину по

довжині обумовлює зміну товщини штаби по довжині. При цьому товщина кінцевих ділянок буде більше, ніж товщина в середній частині довжини, а товщина заднього кінця - більше переднього кінця, внаслідок меншої температури металу (рис. 1.3) Для зменшення товщини заднього кінця в клітках 5-9 необхідно виконувати додаткове обтиснення кінцевої ділянки в межах 0,05-0,5 мм (більше обтиснення в кліті 5).

При прокатуванні штаб застосовують інтенсивні режими деформації (табл. 1.1) .Як впливає з табл. 3.3, відносні і абсолютні обтиски максимальні у чорновій групі клітей і в деяких клітках близькі до максимальних (див. вище). Середнє нормальне напруження  $p_{cp}$  зростає від 86,7 Н / мм<sup>2</sup> (кліть 1) до 409 Н / мм<sup>2</sup> в кліті 8, що обумовлено зменшенням товщини і температури штаби (Ст. 08кп). Максимальна сила прокатки має місце в кліті 5 і становить  $P = 16,7$  МН, але не перевищує допустимого значення  $[P] = 23$  МН по шийці опорного валка.[1]

Товщина штаби після кліті 10 контролюється рентгенівським мікрометром, а площинність візуально. На рольганзі за кліттю 10 штаби, які направляють на холодну прокатку інтенсивно охолоджуються водою в душируючих пристроях, що забезпечує отримання структури металу з рівномірними рівновісними зернами і високу пластичність.

Частина рулонів по підземному конвеєру направляють в цех гарячої прокатки, а інша частина - для дресування та оброблення на листи у відділенні цеху холодної прокатки.

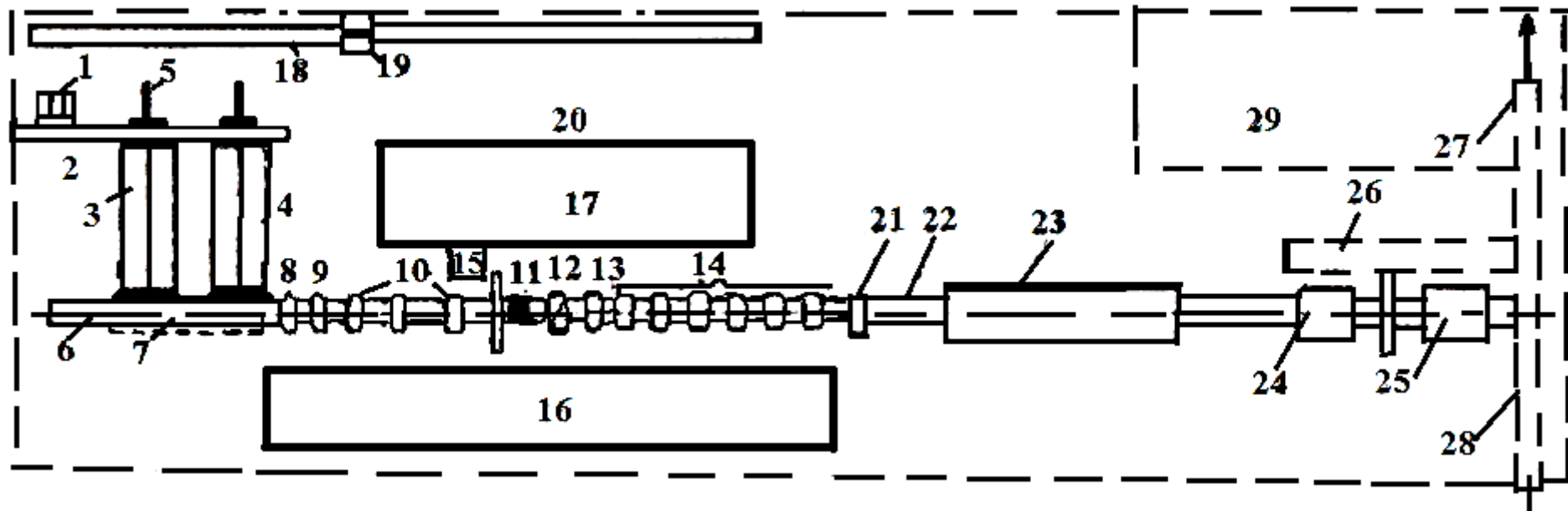


Рисунок.1.1 - Схема розташування обладнання ШСГП 1680:

1 - завантажувальний стіл для слябів; 2 - завантажувальний рольганг; 3,4-нагрівальні печі; 5 - штовхачі слябів; 6 - транзитний рольганг від слябінга; 7 - теплові екрани; 8 - двухвалковий окалиноломач; 9 - перша чорнова кліть кварто; 10 - чорнові кліті з вертикальними валками; 11 - ППУ; 12 - летючі ножиці; 13 - чистовий окалиноломач; 14 - шість клітей кварто (№№ 5-10) чистової групи; 15 - індукційна установка для підігріву робочих валків перед установкою в кліть; 16 - машинний зал; 17-вальцешліфувальна майстерня; 18-рейковий шлях від слябінга; 19 - візок; 20 - ділянка верстатів для зачистки поверхонь слябів з якісних марок сталей; 21 - вимірювач розмірів штаби; 22- відвідний рольганг; 23 - душируюча установка; 24,25 - моталки; 26 - конвеєр прибирання рулонів; 28 - конвеєр рулонів в ЦХП; 29 - ділянка оброблення рулонів

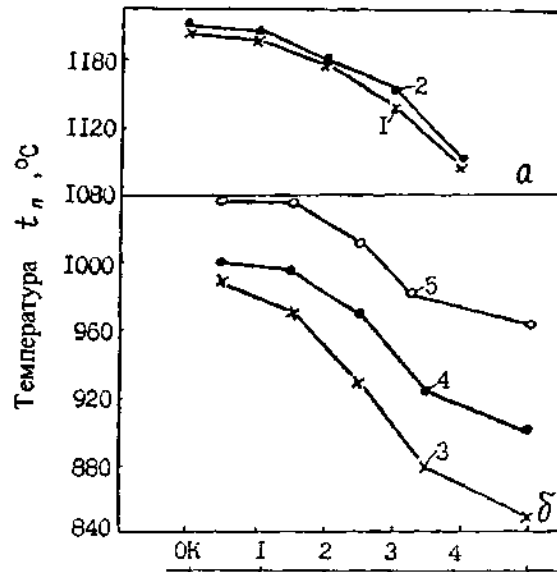


Рисунок 1.2 - Розподіл температур штаби по клітям чорнової (а) і чистової (б) груп ШСГП 1680.

Розміри штаби після кліті 4: 1- 20 x 1200 мм (сляб Н = 150 мм); 2-23x1250мм (сляб Н= 160 мм).Розмір штаби після кліті 10: 3 - 2x1170 мм ( $h_{II} = 20$ мм); 4 - 3x1250 мм ( $h_{II} = 23$ мм); 5-4x1400мм ( $h_{II} = 25$ мм).[2]

### 1.2 Проміжний перемотувальний пристрій «Койл-бокс»

ППП встановлено в лінії стану на проміжному рольгангі між чорною і чистою групою клітей з метою розширення сортаменту рулонів подвійної маси, зниження температурного клину розкату (різниці температур переднього і заднього кінців підкату), збереження і вирівнювання по довжині розкату температури металу. Це досягається шляхом змотування розкату в рулон, з наступним його розмотуванням і завданням заднім кінцем у чистову групу клітей стану. [2]

Технічні характеристики койл-боксу:

- Товщина прокату - 18-36 мм
- Ширина прокату - 850-1520 мм
- Температура розкату - 950-1150 градусів
- Питома маса рулону, на од. ширини - 4,5-12,5 кг/мм

- Маса рулону - 4,5-18,6 т
- Внутрішній діаметр рулону, змотувати на ППП - 600-650 мм
- Максимальний зовнішній діаметр рулону, змотувати на ППП - 1600 мм
- Заправна швидкість - 2,0-4,5 м/с
- Максимальна робоча швидкість розмотування - 2,5 м/с
- Максимальна швидкість розмотування - 2,5 м/с
- Швидкість різу на головній частині розкату на кінцевих ножицях-2,0 м/с
- Мінімальний час паузи між розкатами перед чистової кліттю № 5 - 5 секунд.

Проміжний пристрій може працювати в трьох режимах:

- Робота в автоматичному режимі
- Робота в ручному режимі
- Моделювальна робота

Робота в автоматичному режимі є основним режимом обробки розкату.

Програма управління координує всі послідовності операцій змотування і розмотування в автоматичному режимі. Контролер койл-боксу відстежує переміщення розкату по вимірах швидкості, положення, та напрямки і часу, використовуючи детектори гарячого металу і сигнали стану для визначення головного і хвостового кінців розкату. Безперервно ведеться розрахунок діаметра рулону для послідовності операцій. Контролер використовує вихідні дані, що задаються оператором на екранах інтерфейсу людина-машина, а також вихідні дані, що надходять від системи управління стана, які передаються в контролер.

Система управління відстежує проходження всіх слябів з моменту їх наближення до кліті ДУО до моменту виходу хвоста з чистової кліті №5, щоб визначити, чи буде готовий койл-бoks прийняти наближається розкат.

Час між розкатами (паузи) розраховується з урахуванням мінімального інтервалу і фактичної інформації про становище розкату, що надходить від чорнової кліті №1

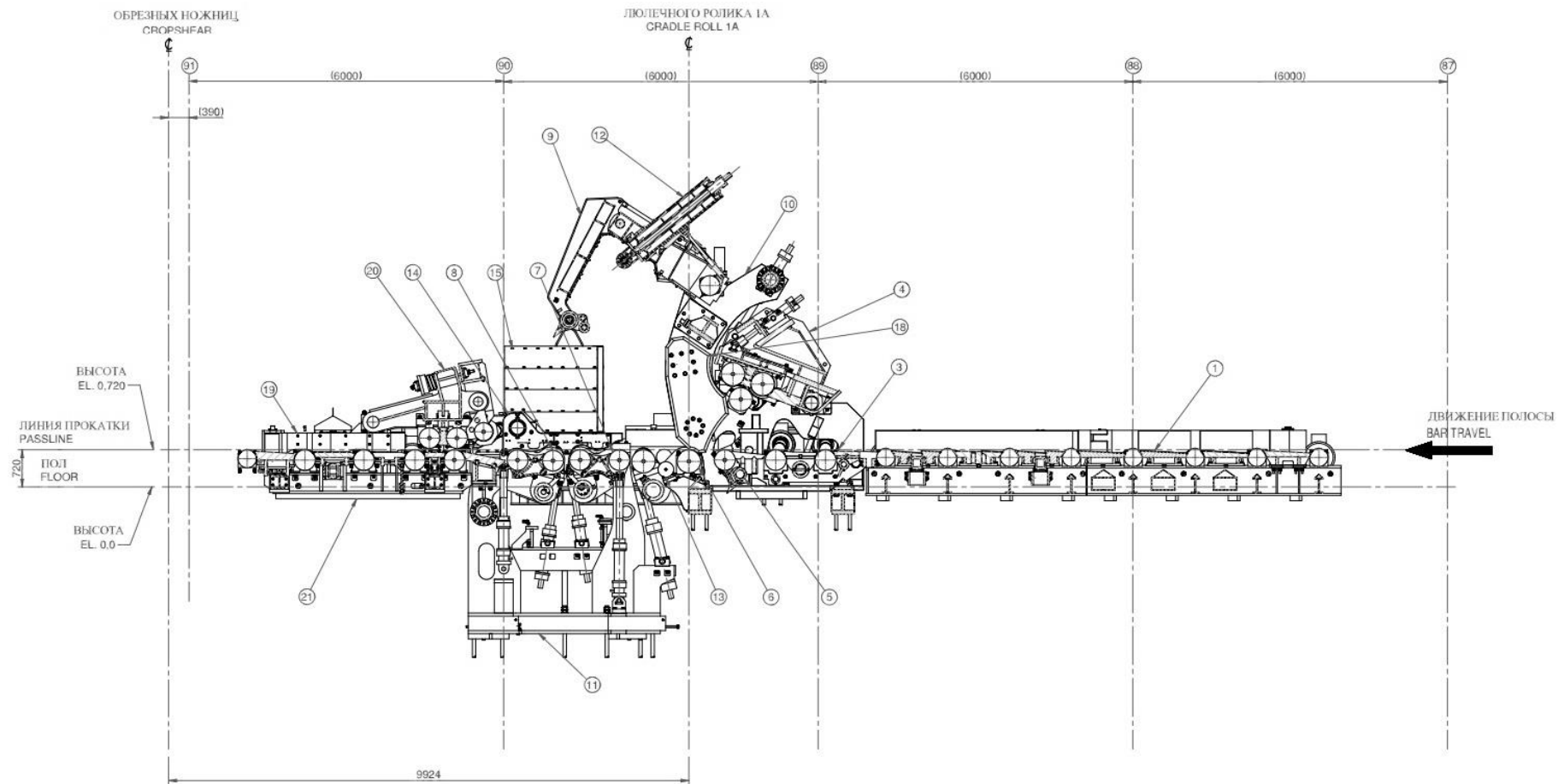


Рисунок 1.3 – Схема «Койл-бокс» (ППП):

1- підвідний рольганг і вхідні бічні направляючі; 3 – вхідний жолоб; 4 - гнучкі ролики; 5 - формуючий ролик; 6 - люлечні ролики № 1; 7 - люлечні ролики № 2; 8 - люлечні ролики № 3; 9 – важіль відгинала; 10 - основна рама; 11 - надбудова люлечних роликів; 12 - притискні ролик; 13 - виштовхуючий ролик; 14 - бічні напрямні розмотувачі; 15 - теплові екрани; 18 - стабілізатори; 19 - вхідні бічні направляючі кінцевих ножиць; 20 - верхній правильний механізм з тягнучими роликами; 21 - нижній правильний механізм з тягнучими роликами.

Необхідні умови для роботи в автоматичному режимі:

- Гідравлічна система, система мастила, система охолодження в робочому стані;
- Детектори гарячого металу (ДГМ) в робочому стані; приводу змотування в робочому стані - привід вхідного рольганга, вхідного жолоба, гибочних роликів, люлечних роликів;
- Знаходження вхідного жолоба в піднятому положенні;
- Знаходження формуючого ролика в піднятому положенні;
- Знаходження притискного ролика в піднятому положенні.

Після надходження прокату в зів валків чорнової кліті №4, приводу прискорюються до швидкості, встановленої згідно опорної швидкості при змотуванні, а вихідні бічні напрямні виставляються на ширину рівну ширині розкату «плюс» зсув розкату від осьової «плюс» короткий хід. Зсув вхідних бічних напрямних від осьової і короткий хід задаються з екрану налаштування інтерфейсу людина-машина.

Після надходження головного кінця розкату під детектор гарячого металу №1 привід налаштовується на швидкість рівну швидкості виходу металу з кліті №4. Сопла для змиву окалини в зоні змотування відключаються.

Передній кінець розкату по роликах вхідного жолоби надходить у гибочні ролики. Вигнутий розкат надходить з гибочних роликів на верхню формуючу проводку, ковзає вниз по проводці, над формуючим роликом і по нижній формуючій проводці до люлькового ролику 1А. Формування першого витка рулону завершується, коли люльковий ролик 1А направляє кінець на гору до формуючого ролика. Після виходу розкату з чорнової кліті №4 опорна швидкість при змотуванні збільшується до робочої швидкості койл-боксу. При надходженні заднього кінця розкату під детектор гарячого металу ДГМ2 проводиться розрахунок ділянки розкату що залишилась, придатному до змотування. Опорна швидкість при змотуванні починає позиціонування заднього кінця, здійснюючи управління швидкістю приводів



змотування. Коли задній кінець виявляється на попередньо певній відстані від позиції зупинки хвоста, опускається відгибач.

При необхідності притискної ролик опускається на рулон і надає регульоване зусилля, необхідне для створення тертя, що забезпечує відгинання і розмотування з подальшою завданням у тягнучий ролик.

Після зупинки люлечних роликів і позиціонування заднього кінця рулону

стабілізатори зводяться на величину короткого ходу для центрування і вирівнювання телескопічності рулону, а потім розводяться на величину короткого ходу до положення розмотування.

Після завершення зупинки хвоста відгибач відгинає кінець рулону і утримує розкат в нижньому положенні, щоб люлечні ролики №1 могли розмотати рулон і направити його в чистову групу. Відгибач залишається в опущеному положенні, поки розкат не підійде до ролика що тягне, чи не буде заданий у чистову групу клітей.

При надходженні головного кінця під детектор гарячого металу ДГМ№4 рама правильно-тягнучого ролика опускається в положення притиску. За допомогою тягнучого ролика розкат задається в кінцеві ножиці.

При надходженні головного кінця розкату в район чистового окалиноломача опорна швидкість розмотування перемикається на вхідну швидкість кліті №5.

При вході голови розкату в чистову групу правильно-тягнучий ролик піднімається в положення правки. При цьому виключається зсув розкату після його попадання в чистову групу, і створюються стійкі умови для правки.

При зменшенні діаметра рулону до 1000мм, розмотують бічні напрямні встановлюються по ширині розкату «плюс» положення введення штиря. Утримують штирі вводяться в очко рулону, коли діаметр рулону зменшується до 900мм.

При проходженні заднього кінця розкату під ДГМ6 розмотувати бічні направляючі розводяться в крайнє положення, що утримують штирі втягуються, а люлькові ролики №2,3 знаходяться в положенні заправки.

Запускається цикл охолодження і змиву окалини при розмотуванні. Правильно-тягнучий ролик піднято в положенні очікування. Після закінчення передачі рулону на люлечні ролики №2, проводиться налаштування зони змотування перед наступним розкатом.

### ***1.3 Дослідження зношування валків і поперечної різнотовщинності при існуючому процесі прокатки***

Необхідна вихідна профілірування робочих валків обумовлена, як відмічено вище [3-9], прогинами робочого  $W_1$  і опорного  $W_2$  валків, вихідним профіліруванням  $f_{оп}$  опорних валків, теплової опуклістю  $\Delta D_t$  робочих валків, зносом опорних валків  $\delta_v$  і необхідної поперечної різнотовщинністю  $\delta_{п}$  прокатуємої штаби. Для розрахунку  $W_1$  і  $W_2$  використовуємо модель, враховує, в тому числі, і нерівномірність розподілу міжвалкових навантажень, а на відміну від відомих, більш зручну при використанні в практичних умовах. Однією зі складних завдань є визначення теплової опуклості робочих валків, яка може бути подолана шляхом отримання експериментальної залежності  $\Delta D_t = \Phi(\Delta t)$  стосовно конкретного стану ( $\Delta t$  - в даному випадку різниця температур поверхні між серединою і краєм бочки робочого валка). Експериментальні дослідження виконані в чистової групі широкосмугового стану 1680 гарячої прокатки на нових опорних валках (працювали протягом однієї доби). Після витягання робочих валків з клітей протягом 25 - 30 хв. вимірювали розподіл температур і профілі утворюючих робочих валків по довжині їх бочок. Температуру валків вимірювали термометром ЕТМ -М з точністю  $\pm 1$  °, а профілі валків пасометром з індикатором годинникового типу з точністю показань 0,01 мм [10].

Заздалегідь встановили інтенсивність зміни температури і профілі

валків при їх охолодженні на стенді в продовж  $\eta = 10-270$  хв. після відключення охолоджуючої води. Вимірювання температури поверхні і профілю валків в клітках 5-10 виконували по всій його довжині через кожні 100 мм, починаючи від точки, розташованої на відстані 40 мм від краю бочки зі сторони завалювання. На валках прокатили 2150 т смуг товщиною 2,3 – 3 мм, шириною  $B = 1250$  мм (2000 т) і  $B = 1000$  мм (150 т в кінці кампанії) зі сталі марки 08пс.

Температура повітря становила  $32^{\circ}\text{C}$ , а охолоджуючої води  $29 - 30^{\circ}\text{C}$ . Вимірювання показали, що температура поверхні як в початку, так і в кінці природного охолодження розподілена по довжині валка симетрично щодо його осі. На початку вимірювання (через 10 хв після відключення води) температура в середині довжини валка дорівнює  $72-74^{\circ}\text{C}$  (на ділянці довжиною 200 мм), а на краях -  $40$  і  $41^{\circ}\text{C}$  (на відстані 40 мм від торців бочки). У кінці вимірювань (через 270 хв) температури були рівні: в середині -  $41-42^{\circ}\text{C}$ , а на краях -  $33$  і  $32^{\circ}\text{C}$ .

У процесі охолодження діаметр валків по його осі зменшився на  $0,13 - 0,16$  мм, а на краю з боку приводу - всього на  $0,02$  мм. Незважаючи на симетричне розподіл температури по довжині валка в кожен період охолодження, зменшення діаметра валка зі сторін завалювання і приводу несиметрично. Так, в точках, розташованих на відстані 440 мм від торців валка, через 270 хв від початку охолодження зменшення діаметра з боку завалювання становить  $0,04$  мм, а з боку приводу -  $0,11$  мм. По мірі наближення до осі валка не симетрія зменшення діаметра валка в перетинах зі сторін завалювання і приводу практично зникає, що дозволяє встановити зв'язок між зміною градієнта температур  $\Delta t_i$  поверхні валка на ділянці середини валка довжиною в 200 мм і зміною середнього діаметра  $\Delta D_t$ , валка в процесі його охолодження.

Градієнт температур визначали з рівняння

$$\Delta t_i = t_0 - t_i \quad (1.1)$$

де  $t_0$  - середня температура поверхні валка на ділянці довжиною 200 мм на початку вимірювання ( $t_0 \approx 73$  °С);  $t_i$  – температура поверхні валка на тій же ділянці в різні періоди охолодження, °С.

Як впливає з рис. 1.4, між зміною градієнта температур поверхні валка і зменшенням середнього діаметра валка існує параболічна залежність і при градієнті температури 31-32 °С діаметр валка зменшується в середньому на  $\Delta D_t = 0,13 - 0,16$  мм, що істотно менше значення, обумовленого за відомим висловом

$$\Delta D_t = D \Delta t_i \alpha \cdot 10^{-6} = 598 \cdot 31,5 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \approx 0,225 \text{ мм} \quad (1.2)$$

де  $D$  - діаметр валка;  $\alpha$  - коефіцієнт температурного розширення.

Оскільки по перетину валка в процесі роботи існує деякий градієнт температур, то в формулу (2.2) вводять коефіцієнт стиснені  $k$ .

Для робочих валків діаметром 400 - 500 мм станів холодної прокатки дослідні значення коефіцієнта  $k$  дорівнюють 0,6- 0,8, а для робочих валків діаметром 620 мм стана 1680 гарячої прокатки, в відповідності з нашими даними, коефіцієнт стиснені при  $\Delta t = 31,5$  °С складає  $0,145 / 0,225 \approx 0,64$ .

Дослідні дані виміряних температур і профілів гарячих валків після вивалки представлені на рис. 1.4, 2,3 і в таблиці 1,1.

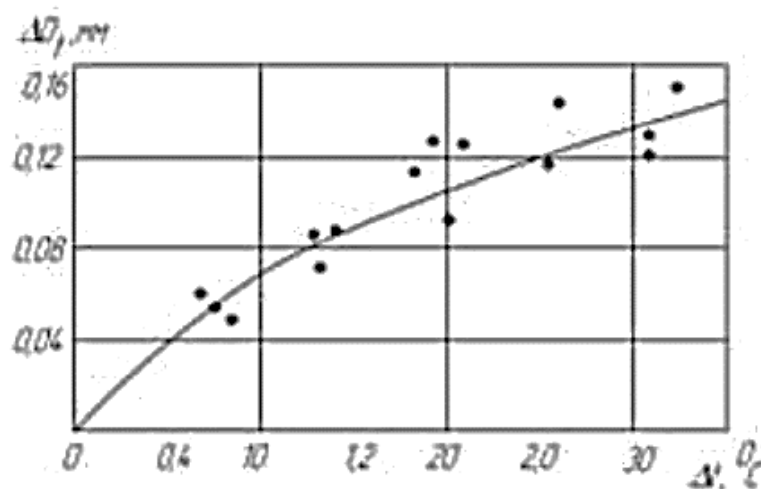


Рисунок. 1.4 - Зміна діаметру  $\Delta D_t$  робочого валка ( $D = 598$  мм) кліті 5 ШСГП 1680 гарячої прокатки в процесі природного охолодження

У серії дослідів на валках прокатили  $G = 2600$  т штаб товщиною 2 - 3 мм і шириною  $B = 1000$  мм зі сталі марки 08пс (кп) (85% загального часу, прокатували сляби транзитом зі слябінга).

Як впливає з рис. 1.5, температура поверхонь валків нерівномірна по довжині бочок. Максимальна температура в  $64 - 80$  °С зосереджена по їх осі, а на довжині  $L \approx 900$  мм, де прокатувана штаба (шириною  $B > 1000$  мм), градієнт температур бочок не великий, всього  $6 - 12$  °С. До торців бочок відбувається різке зниження поверхневої температури за рахунок інтенсивного охолодження валків водою при відсутності контакту з нагрітою смугою. Загальний градієнт температур між серединою і краями валків складає  $29 - 35$  °С, що відповідає різниці діаметрів в середині і на краях бочки  $0,14 - 0,15$  мм (рис.2.2).

З рис.1.5 впливає, що при прокатці штаб однієї ширини ( $B = 1000$  мм) знос робочих валків відбувається на довжині бочки  $L_i \approx 1370$  мм, а власне краю валків в гарячому стані не показують ознак зношування. Профіль утворюють вироблених гарячих валків набуває в процесі зносу різну форму. Спільним є те, що робочі валки зношуються в середній частини на величину  $2\delta_r$  (див. табл.1.4) яка дорівнює  $0,05 - 0,29$  мм. Максимальний знос спостерігається в клітках 9, 10. Утворюючі валків в гарячому стані на ширині штаби набувають ввігнутою (кліті 5, 6) і випуклу (кліті 7 -10) форми. Причому величина випуклості в клітках 7, 8-10 значна і дорівнює  $2f_r = 0,10 - 0,17$  мм. Параметри  $2\delta_r$  і  $2f_r$  впливають на прогин робочих валків і поперечну різнотовщинність штаби в клітках чистової групи. При цьому параметр  $2\delta_r$  способствує збільшенню поперечної різнотовщинності штаби, а позитивні значення  $2f_r$  - зменшення.

**Таблиця 1.1-** Експериментальні та розрахункові дані параметрів профілів утворюють валків (нижні робочі валки й опорні циліндричні валки)

Номер кліті	Практичне профілювання $2f_{ш}$ , мм	$\delta_{п}$ , мм	$2\delta_{г}$ , мм	$2f_{г}$ , (по ширині полоси), мм	Шліфувальний профіль по довжині нових валків, мм	
					$2f_L$	$2f_{ш}$
5	-0.10	0,15	0,10	-0,03	-0,14	-0,28
6	-0.15	0,10	0,15	-0,02	-0,06	-0,20
7	-0.10	0,07	0,07	0,13	0,06	-0,08
8	0	0,05	0,05	0,17	0,06	-0,08
9	-0.10	0,04	0,29	0,02	0,06	-0,08
10	-0.05	0,03	0,16	0,10	0,04	-0,10

$f_L$  і  $F_{ш}$  - вихідні профілі робочих валків в гарячому і холодному станах.

Утворення гарячих профілів валків в процесі роботи обумовлено сукупним впливом різних факторів (нерівномірністю розподілу температури по ширині розкату перед кліттю 5; поперечної різнотовщинністю розкату; вихідним профілем валків; різної твердістю поверхонь валків; різною інтенсивністю охолодження валків; різною температурою повітря і охолоджувача; різною шириною штаби і порядком прокатування штаб по ширині).

На наш погляд характер вироблення робочих валків в клітках 5 - 10 обумовлений нерівномірністю розподілу контактних напружень по ширині штаби в осередку деформації. Майже у всіх випадках (рис. 1.6) виявилось, що найбільший знос валків відповідає крайках штаби, які мають меншу температуру, ніж середина ширини штаби і, отже, великі контактні напруги і вироблення.

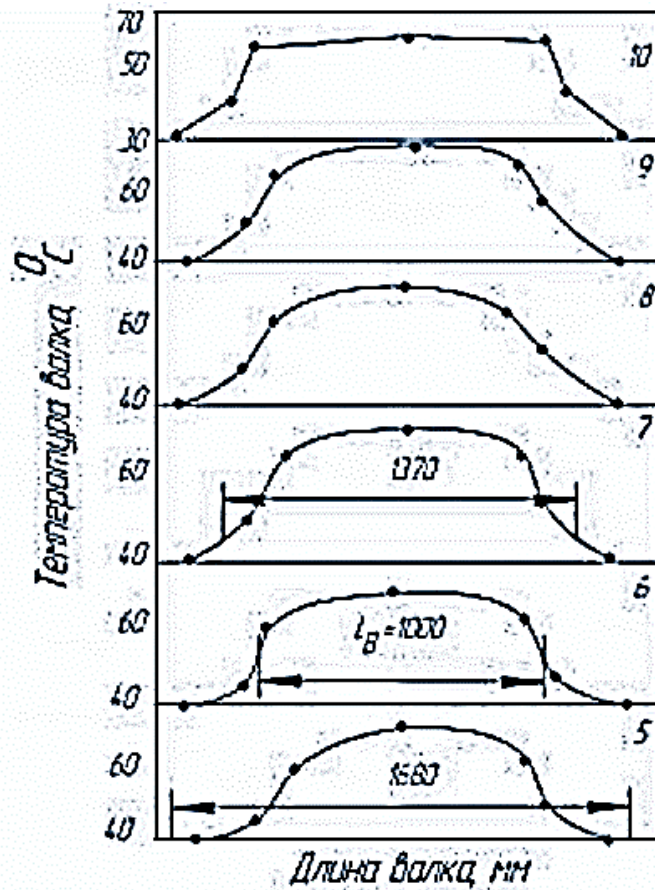


Рисунок. 1.5 - Зміна температури робочих валків чистової групи сталі: 5 - 10 - номера клітей стану ( $B = 1000$  мм); О - Верхній валок; х- нижній валок

Це більшою мірою відноситься до найбільш завантаженим клітям № 7, 8. Однак максимальний абсолютний знос валків спостерігається в клітях № 9, 10, де температура штаби мінімальна. Крім того, утворенню опуклою (щодо максимальних виробок) форми профілю валків в клітях № 8 – 10 обумовлено також великим розігрівом середини довжини бочок робочих валків, про що свідчать профілі вироблення робочих валків в холодному стані (рис.1.7).

Врахувати вплив всіх вказаних факторів при розрахунку шліфувальних профілювань представляє певні труднощі, та це, як показує практика, і не слід робити. В умовах чинного безперервного стану, незалежно від умов його роботи, як правило, використовують дві - три системи профілювання робочих валків чистової групи, змінюючи в основному профілювання валків в першій і останній клітях. У зв'язку з зазначеним для кожного конкретного стану необхідно розрахувати одну базову профілювання робочих валків

чистої групи з урахуванням прогиба валкової системи, заданої поперечної різнотовщинності штаби і теплового профілю робочих валків для нових опорних валків ( $f_{оп} = \delta_0 = 0$ ). Гарячий профіль валків на всій довжині бочки визначили за формулою

$$f_L = (W_1 + W_2) \left( \frac{L}{L_a} \right)^2 - \frac{\delta_{II}}{2} \left( \frac{L}{B} \right)^2, \quad (1.3)$$

де  $L$  - довжина бочки робочого валка;  $L_a$  - довжина активної утворює опорного валка (без скосів і вріз на краях).

Розрахунок профілювання виконаємо для чистої групи ШСГП 1680 стосовно до прокатці штаби з розмірами  $3 \times 1000$  мм з сталі марки 08пс (кп). Сила прокатування визначимо за моделлю [11] для прийнятого на стані температурно - деформаційного режиму. Прогини робочих і опорних валків розраховували за моделлю з урахуванням нерівномірного розподілу між валкових тисків по ширині штаби.

Стосовно до клітей чистої групи стана 1680 величини прогинів валкових вузлів представлені на рис. 1.8, з якого випливає, що сумарний прогин валків  $W_1 + W_2$  лінійно зростає зі збільшенням зусилля прокатки і зменшенням ширини підлогу. При  $\delta_{II} = f_{оп} = \Delta D_t = \delta_B = 0$ , необхідна опуклість одного робочого валка дорівнює  $f_p = W_1 + W_2$ . Дані рис.1.7, 1.8 використовуємо для розрахунку необхідного профілювання робочих валків клітей ШСГП 1680.

Однією з основних умов листової прокатки є відповідність змін по клітям чистої групи поперечної різнотовщинності і коефіцієнтів витяжки штаби:  $\delta_{II} = aht$ ;  $a = \delta_{II0} / h_{10}$  де  $\delta_{II0}$  і  $h_{10}$  - поперечна різнотовщинність і товщина штаби в кліті 10. Опорні валки працювали протягом однієї доби.



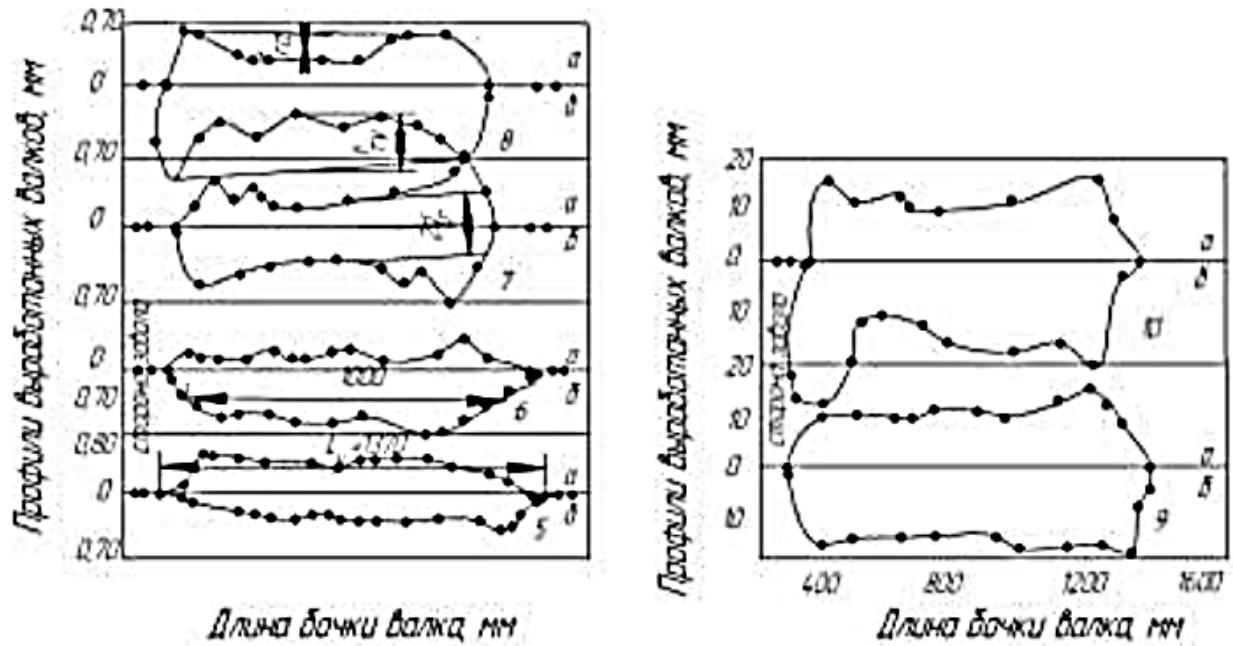


Рисунок. 1.6 - Гарячі профілі зношених робочих валків клітей 5 – 10 (цифри на графіках). Вихідні профілі валків (верх - а / низ - б), мм 5 - 0,10 / 0; 6 - -0,10 / 0; 7 - -0,10 / 0; 8 - 0/0; 9 - -0,10 / 0; 10 - -0,05 / 0. (прокатує штаби).

Для клітей чистової групи ШСГП 1680 гарячої прокатки (штаба  $3 \times 1000$  мм) при заданій  $\delta_{п10} = 0,03$  мм маємо  $a = 0,01$ . Розрахункові дані  $\delta_p$  в клітях чистової групи указані в табл.2.1. Там же представлені розрахункові величини гарячого профілю нових робочих валків ( $2f_L$ ) для нових опорних валків. Як видно з табл.1.1, розрахунковий гарячий профіль двох робочих валків має ввігнуту форму в клітях 5, 6 і випуклу – в клітях 7 - 10, що якісно відповідає експериментальним даними  $2f$  валків в гарячому стані.

Найбільш складним є визначення шліфованого вихідного профілю робочих валків в холодному стані. Перед установкою в кліті чистової групи середні частини довжин валків нагрівають в установках індукторними нагрівачами. В умовах ШСГП 1 680 перед завалкою в кліті температура валків в середині довжини дорівнює  $66 - 68$  °С, а на краях  $44 - 46$  °С (градієнт температур  $\Delta t = 22$  °С).

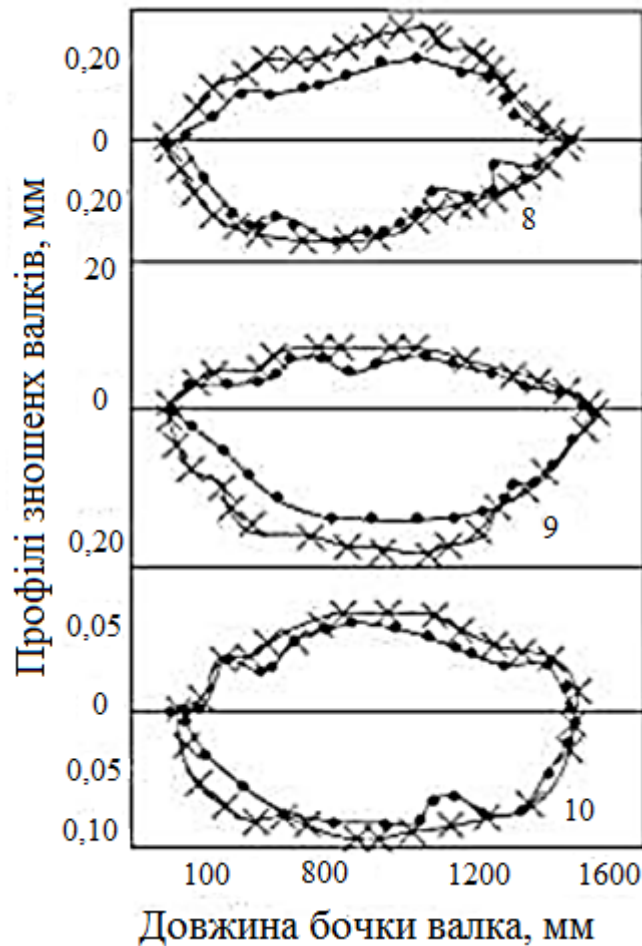


Рисунок 1.7 - Профілі зношених робочих валків в холодному стані (кліті № 8 - 10). вихідні профілі в клітях № 8 - 10 -  $f_{ш} = 0$ ; в кліті № 9 -  $f_{ш} = -0,1 / 0$ .

Об'єм прокату  $G = 2100 - 2400$ т.

При такому градієнті температур збільшення діаметра валка в середині в порівнянні з краями складає (рис.2.1)  $\Delta D_t \approx 0.07$  мм. З урахуванням теплового розширення валка його шліфувальний профіль в холодному стані визначим за формулою (на довжині валка)  $f_{ш} = f_L - \Delta D_t$ . Як впливає з табл. 1.1, розрахункова шліфувальне профілювання робочих валків для клітей 6-10 досить близька до практично використовуваної, а для кліті 5 вслідкується істотна відмінність у бік збільшення вихідної угнутості робочих валків. У практичних умовах базу профілювання уніфікують стосовно для груп впливають факторів вибираючи деякі усереднені величини  $f_{ш}$ . При зміні умов роботи стана, наприклад, після вироблення опорних валків (у другу половину терміну їх експлуатації) змінюють лише профілювання робочих валків кліті

10 з  $f_{\text{ш}} = 0,05 / 0$  на  $f_{\text{ш}} = 0/0$  (чисельник - для верхнього, знаменник – для нижнього валка). З табл.2.2 також впливає, що при заданій величиною кінцевої поперечної різнотовщинності штаб раціонально в кліті 5 збільшити ввігнутість верхнього робочого валка до  $f_{\text{ш}} = - (0,20-0,25)$  мм.

Опорні й, особливо, робочі валки широкосмугових станів працюють при значних температурних і контактних напруженнях, інтенсивних відносному ковзанні на контактних поверхнях зі смугою, значною нерівномірності вироблення валків по довжині бочок. За конструктивним або з технологічних причин виникають несиметричні висотні деформації по ширині штаби надають свій вплив на стабільність служби валків і прокатки. Зносостійкість робочих і опорних валків в значній мірі впливає на поперечну різнотовщинність полосової сталі.

З рис. 1.9, а впливає, що в процесі експлуатації робочих валків на ШСГП 1680 з діаметрами  $D_1 = 585 - 620$  мм, поперечна різнотовщинність смуг в перебігу зміни (нові опорні валки) зростає з  $\delta_{\text{шп}} = 0,02 - 0,07$  мм до  $\delta_{\text{шп}} = 0,07 - 0,11$  мм. Тобто в кінці їх установки в кліть на цих валках прокочують штаби з поперечної різнотовщинністю, яка перевищує  $\delta_{\text{шп}} > 0,05$  мм. Аналогічна картина спостерігається і в 98 процесі експлуатації опорних валків (9x2, 9X2МФ,  $D_{\text{оп}} = 1170 - 1240$  мм) (Рис. 2.6 б).

Після прокатки 120000 т металу спостерігаються ознаки початку катастрофічного зносу. Дані рис. 1.10, б отримані при вимірі товщин смуг, прокатаних на нових робочих валках. Компенсація поступового зносу робочих валків і деякий зниження поперечної різнотовщинності забезпечують тепловою профіліровкою і протовоізгибом робочих валків в останніх клітях стану. Зазначена на рис. 1.9 поперечна різнотовщинність смуг характерна і іншим країнам, що не обладнаними системами регулювання міжвалкового зазору .

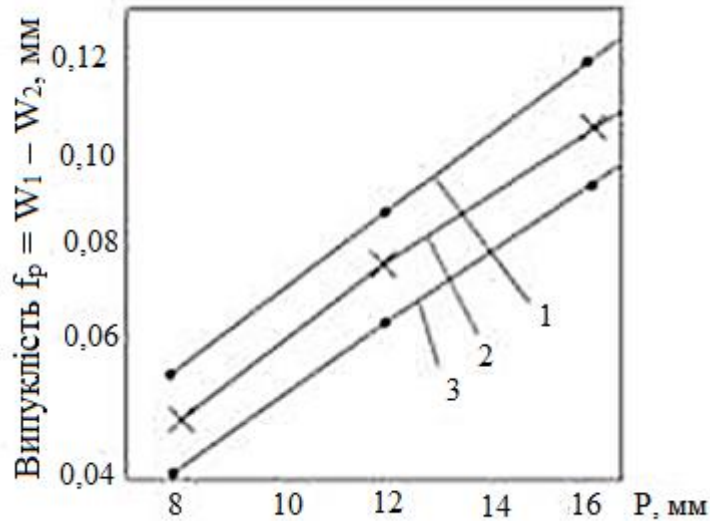


Рисунок 1.8 - Випуклість робочого валка (сумарний прогин робочого і опорного валків) клітей чистої групи ШСГП 1680 гарячої прокатки на довжині валка (вихідні дані в тексті). Ширина штаби  $B$ , мм: 1 - 1000; 2 - 1250; 3 - 1400

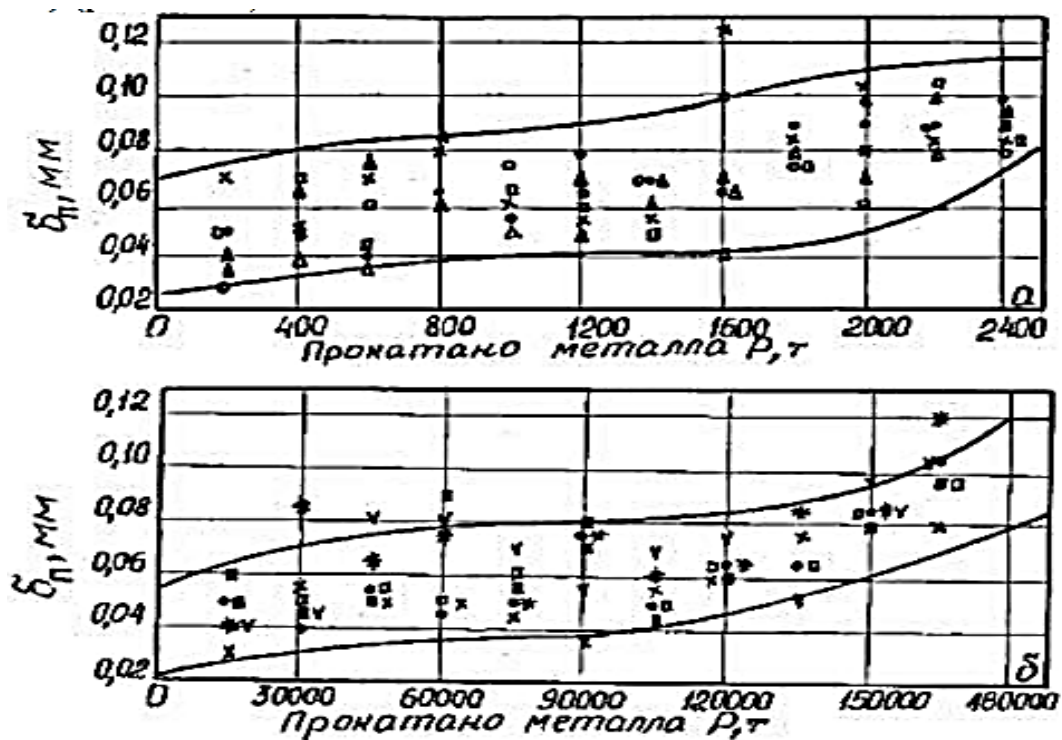


Рисунок 1.9 - Зміна середньої поперечної різнотовщинності листів з сталі марок 1ПС, 08пс, 2пс, 20кп, 3 пс, 1ПС, 10пс, 3пс, 20пс при виробленні:  
а - робочих валків; б - для опорних валків (ШСГП 1680)

Застосування зазначених систем регулювання міжвалкового зазору не виключає необхідності вдосконалення технології прокатки, створення нових матеріалів для валків, підвищення їх експлуатаційних властивостей, створення нових пристроїв для регулювання взаємного положення валків. Одним з способів підвищення ефективності виробництва і експлуатаційної стійкості валків є використання що мають місце резервних можливостей в технології того чи іншого стану, в цьому числі, і створення несиметричних процесів прокатки.

Для отримання раціональної поперечної різновтовщинності штаб в межах  $\delta_{\text{шт}} = 0,03 - 0,05$  [12,13] мм кліті чистових груп ШСПП необхідно обладнати системами з декількома каналами регулювання міжвалкового зазору:

- багатосекційними колекторами подачі охолодження на робочі валки (5-10 секцій);
- гідроізгибом робочих (опорних) валків (протиоізгиб і додатковий вигин);
- системами осьового зсуву робочих валків клітей кварто з використанням профілювання робочих валків типу SVC;
- системами відносного схрещування верхньої та нижньої пар валків кліті кварто.

Застосування зазначених систем регулювання міжвалкового зазору не виключає необхідності вдосконалення технології прокатки, створення нових матеріалів для валків, підвищення їх експлуатаційних властивостей, створення нових пристроїв для регулювання взаємного положення валків [14 - 23]. Одним з способів підвищення ефективності виробництва і експлуатаційної стійкості валків є використання що мають місце резервних можливостей в технології того чи іншого стану, в цьому числі, і створення несиметричних процесів прокатки.

## 2 ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ПОПЕРЕЧНУ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ШТАБ

### 2.1 Профілювання валків

На широкоштабових станах гарячої прокатки в кліті «кварто» застосовують один-три валка з профільованими утворюючими бочок, наявність котрих дозволяє компенсувати пружні деформації робочих і опорних валків. Як правило, в робочому стані (після розігріву) валки отримують опуклий профіль з одночасним нерівномірним їх зношуванням. Наявність вихідних опуклостей (ввігнутостей), нерівномірний розігрів і знос по довжині бочок валків обумовлює нерівномірний розподіл міжвалкового тиску [4,5,24,25,27,28]. З урахуванням впливу різних факторів та з метою підвищення ефективності експлуатації валків в роботі [24] розроблені і рекомендуються наступні принципи профілювання бочок валків ширококосмугових станів:

- зменшення (усунення) опуклості робочих валків за рахунок перенесення її на опорні валки;
- застосування в клітях штабових станів робочих валків з увігнутим профілем утворює бочки;
- зменшення сумарної опуклості в системі «робочий валок-опорний валок» шляхом розміщення опуклості на двох опорних валках;
- зменшення кривизни утворюючих бочок валків і середньої величини випуклості валків за рахунок застосування профілювання валків у вигляді параболи вищого порядку (наприклад, трапецієподібної форми);
- застосування змінного профілювання робочих валків в клітях стану шляхом періодичної зміни в кожній перевалці положення опуклого валка з верхнього в нижнє і навпаки;

- збільшення довжини робочої частини бочки опорного валка від перших кліт переривного стана до останньої.

Практичне використання перших чотирьох рекомендацій забезпечує зменшення зношення в середній частині довжини бочок валків і підвищення їх працездатності. Використання п'ятої рекомендації дозволяє зменшити ступінь нерівномірного зносу опорних валків, а шостий - забезпечити вирівнювання обтиснень і погонних тисків по ширині штаби. Аналіз експлуатації валкових комплектів з різним профілюванням широко представлений в зазначених вище роботах. На рис. 2.1 показані різні профілювання опорних (а) і робочих (б) валків. Варіанти 1-7 відносяться до типів вихідного профілювання опорних і робочих валків, а варіанти 8, 9 характеризують умови контактування у разі використання зношених на увігнутість опорних валків і нових робочих валків. У ряді випадків опорні валки отримують вироблення у формі опуклості і цим умовам відповідають форми утворюючих за варіантами 2,6,7. Циліндричні робочі валки під дією штаби отримують завжди максимальну вироблення в середині довжини бочки, а на опуклих валках зменшується величина опуклості [24].

Для чотирьохвалкових клітей застосовують валки з вихідними шліфованим профілюванням, як правило, за варіантами 1-3.

Хромомолібденованадієва сталь 9Х2МФ завдяки підвищеній кількості хрому й наявності молібдену й ванадію володіє значно більшою прогартованістю, гартуванням й в'язкістю, чим сталі 9Х, 9Х2, 9ХФ. Сталь марки 9Х2МФ має більшу витривалість і опором викрашуванню. Такими ж технологічними й експлуатаційними властивостями, що й сталь марки 9Х2МФ, володіє хромовольфрамова сталь 9Х2У. Більш високі експлуатаційні властивості мають валки із кремневольфрамованадієвою сталі марок 9Х2СВФ і 9ХСВФ. Кремній підвищує теплотривкість сталі й тому в таких валках можна прокочувати штаби з більше високими швидкостями.

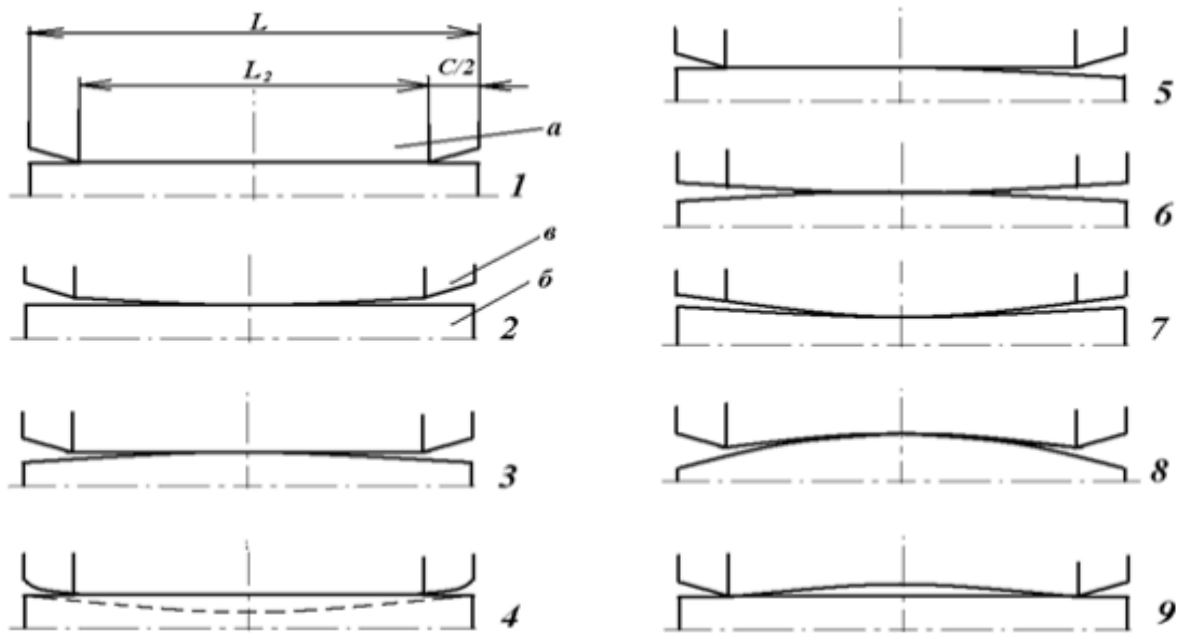


Рисунок 2.1 - Види профілювань (форм утворюючих) валків:

а - опорний валок; б - робочий валок; в - скіс (вріз)

Зазначені сталі рекомендується застосовувати для виготовлення валків з діаметром  $D > 400$  мм.

Якість поверхні валків визначається її геометрією й фізико-хімічними властивостями, обумовленими процесом її утворення при механічній обробці.

Геометричні параметри обробленої поверхні можна підрозділити на три категорії; макрогеометричні відхилення, хвилястість і шорсткість поверхні.

Валки листопрокатних станів шліфують на спеціальних вальцешліфувальних верстатах (моделі 3415Е, 3417У). Технологія підготовки поверхні валків складається, як правило, з операцій обдирання (видалення механічних ушкоджень на бочку валка у вигляді викрошення, наварів, тріщин, сколовши й т.п.) і шліфування (чорнового і чистового), що і надає валку точність по розмірах і необхідній чистоті поверхні. При шліфуванні знімає слой, що, повинен бути дорівнює 0,2-0,5 мм. Якщо потрібно одержати високий клас чистоти поверхонь валка полірують ( $R_A < 0,3$  мкм).



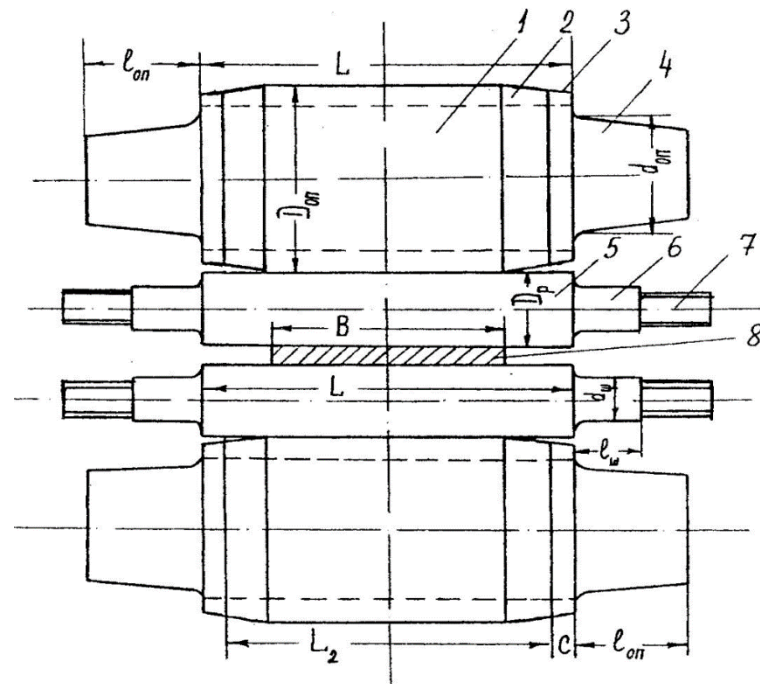


Рисунок 2.2 - Валковий вузол чотиривалкової кліті: 1- вісь опорного валка; 2 - бандаж; 3 - кінцевий скіс; 4 - шейки опорного валка; 5 - робочий валок; 6 - шейку робочого валка; 7 - хвостовик; 8 - штаба.

Для шліфування валків використовують плоскі кола із зовнішнім діаметром 500 мм і вище з монокорунда, електрокорунда, карбиду кремнію, синтетичних алмазів і т.п. з наповнювачами у вигляді бакеліту або гліфталою. Для чорнового шліфування (обдирання) застосовують кола із зернистістю 25-63 (шліфзерно розмірами  $25-63 \times 10^{-2}$  мм), для чистового шліфування - зернистістю 3-10 (шліфпорошок  $3-10 \times 10^{-2}$  мм). По твердості шліфувальні кола розділяються на м'які (М), середньо-м'які (СМ), середні (С), середньотверді (СТ), тверді (Т), досить тверді (ВТ) і надзвичайно тверді (ЧТ). Валки станів гарячої прокатки із твердістю 90-100 НSD шліфують колами типу СМ (попередня) і типу М (остаточне шліфування). При попередньому (чорновому) шліфуванні швидкість обертання кола  $v=30-35$  м/с,  $v=30-35$  м/хв, а поперечна подача кола  $S_{\text{п}}=0,02-0,03$  мм, а поздовжня подача на оберт валка  $S_{\text{пр}}=0,8 H_{\text{к}}$  ( $H_{\text{к}}$  - товщина кола). При чистовому шліфуванні:  $v=40-$

50 м/с;  $v=20-30$  м/хв;  $S_{\Pi}=0,005-0,015$  мм/обор,  $S_{\Pi p}=(0,1-0,2) H_k$ . При такому режимі шліфування одержують поверхню із чистотою клас 8. Клас чистоти можна підвищити шляхом застосування кола з меншою зернистістю, більшою твердістю й меншою поперечною подачею кола ( $S_{\Pi}=0,002-0,004$  мм).

На безперервних станах гарячої прокатки в першій і чистовій, а іноді й у передчистовій, клітках використовують робітники валки з насіченою поверхнею з  $R_a=3-6$  мкм, а в проміжних клітках - валки зі шліфованою поверхнею ( $R_a=0,8-1,6$  мкм)

Застосування насічених робочих валків у кліті 1 обумовлено необхідністю поліпшення умов захвату штаби й запобігання пробуксовки валків по смузі в процесі прокатки. У чистовій і передчистовій клітках - необхідність нанесення на поверхню штаби шорсткості перешкоджає зварюванню витків рулону в процесі рекристалізаційного відпалу в одностопних ковпакових печах.

Насічка поверхні робочих валків здійснюється різними способами. При насічці валків перекошуванням часток абразива в зазор між ситаловим накатником і валком подають суспензію, що складається з мінерального масла й абразивних часток. Валку повідомляється обертовий рух, а накатнику зворотно-поступальне переміщення .

Величина профілювання (опуклість або ввігнутість) робочих валків обумовлена їхнім прогином з урахуванням нерівномірності розподілу  $q(y)$  і тиску під штабою  $p(y)$  допуску поперечної різнотовщиністю штаби, шліфувальній і теплового профілювання опорного валка. Вираження використається також для розрахунку вихідного профілювання робочих валків станів гарячої прокатки. Однак в умовах дії значних контактних напруг при проектуванні профілювань валків станів гарячої прокатки важливо забезпечити міжвалковий тиск не тільки при вихідних профілювання валків, але й у процесі їхньої експлуатації. Останнє досягається при мінімальному рівномірному по довжині бочок зношуванні

валків і при  $q(y) = \text{const}$ . У роботі запропоновані основні принципи проектування профілювань валкових вузлів, що передбачають досягнення в процесі експлуатації мінімальних нерівномірності міжвалкових тисків  $q(y)$  і зношування по довжині бочок валків при відсутності спеціальних пристроїв для впливу на пружні деформації валків.

Попереднє профілювання бочки валків. Найпростішим і найбільше рано виниклим методом компенсації деформацій робочого валка є метод попереднього профілювання його бочки. Власне кажучи, сама по собі деформація (вигину або контактного сплюскування) робочого валка не викликала б занепокоєння, якби при цьому не змінювалась форма його робочої утворюючої. Описуваний метод заснований саме на тому, що він не прагне запобігти або зменшити деформацію валка. Цим методом домагаються лише того, що в результаті цієї деформації форма робочої утворюючої повинна бути по можливості наближена до прямолінійного. Для цього бочку валка в процесі його виготовлення надають, наприклад, шліфуванням, опуклу форму (тобто дійсно форму «бочки» у споконвічному значенні цього слова), причому величина опуклості профілю валка вибирається з урахуванням величини його можливої деформації.

Аналіз умов контактування опорного і робочого валків, виконаний на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, у разі відсутності в кліті «кварто» пристроїв для осьового зсуву робочих валків, дозволяє рекомендувати найбільш раціональну спільну профілювання опорних і робочих валків. При цьому опуклість опорного валка може бути виконана за формою параболи другого або більш високого порядку [24-26]. Для виробництва смугової сталі становить інтерес, так звана змінна профілювань робочих валків (ППРВ) кліті «кварто» [24-26]. Опорні й робочі валки можуть мати опуклий або циліндричний профілі (рис. 2.1, варіанти 1 і 2). Суть профілювання полягає в періодичній зміні (при черговій перевалці робочих валків) положення опуклого робочого валка в кліті з верхнього на нижнє і навпаки, тобто в непарних перевалках опуклий робочий валок

постійно зношує середню частину довжини бочки верхнього опорного валка, а циліндричний (увігнутий) - крайові ділянки бочки нижнього опорного валка. У парних перевалках опуклий валок встановлюють до нижнього опорного валку, а циліндричний

До верхнього опорного валку. У цьому варіанті нижній опорний валок зношується переважно в середній частині, а нижній опорний валок - переважно на крайових ділянках бочки. За рахунок періодичної зміни максимального і мінімального положення міжвалкового тиску відбувається зменшення нерівномірності вироблення опорних валків в процесі їх експлуатації. У цьому випадку, якщо використовувати профілювання ППРВ, починаючи з першої установки опорних валків, можна значною мірою забезпечити стабілізацію міжвалкового зазору в період повної кампанії опорних валків навіть при відсутності спеціальних пристроїв для регулювання положення опорних валків. Тривалі промислові випробування комплектів валків з використанням ППРВ показали можливість зменшення нерівномірності зносу і збільшення тривалості роботи опорних валків без замінів [24,25].

## ***2.2 Прогин валків***

Прогин валків утворюється в результаті дії на них сили прокатування. Величина прогину тим більше, чим більше тиск металу на валки. Зазвичай визначають не прогин валків посередині його бочки.

Загалом кажучи, ця обставина досить легко з'ясовна. Справді, якщо розглянути такий простий метод, як попереднє профілювання валка, то легко бачити, що на станах із широким сортаментом прокатуваних штаб потрібен великий парк валків всілякого профілювання, причому з переходом на кожний новий вид штаби потрібно перевалювати валки, задовго до їхнього зношування, що досить не вигідно. У той же час противигин є досить гнучким методом регулювання поперечної

різновшчинності у всіляких умовах прокатки, причому це регулювання може бути досить легко автоматизовано.

Загалом кажучи, це достоїнство властиве динамічним методам впливу на профіль штаби, однак, противигин об'єднав у собі та інші достоїнства, властиві порізно різним із цих методів, тому якщо підсумувати їх, можна вказати на наступні переваги систем противигину:

1. Швидкодія, що дозволяє регулювати профіль штаби безпосередньо в процесі прокатки.
2. Можливість на тих самих валках вести прокатку штаб різної ширини, матеріалу, і з різними обтисненнями.
3. Можливість компенсації зміни профілю валків під впливом температури, тобто виключення необхідності попереднього підігріву валків після тривалої зупинки стана.
4. Можливість поступової компенсації зношування валків.
5. Зниження згинаючих напруг у бочку валків.
6. Можливість зменшення розмірів опорних валків.
7. Можливість використання системи одночасно і для автоматичного регулювання поздовжньої різновшчинності (тобто в якості САРТ штаби).
8. Можливість застосування системи на діючих станах.
9. Можливість впливу як на опорні, так і на робочі валки.
10. Можливість двосторонньої компенсації профілю робочого валка.
11. Можливість автономного впливу, тобто без передачі додаткових зусиль на станину кліті.
12. Гарна відповідність пружної лінії валка, підданого противигину, і пружної лінії його вигину під дією зусилля прокатки (у вигляді симетричної рівномірно розподіленого навантаження).

Отже, переваги систем противигину численні й очевидні. Однак, як і всякий технічний напрямок, противигин має і свої недоліки. Ці недоліки наступні:

1. Ускладнення конструкції кліті, особливо при реалізації автономних систем протівигину.
2. Ускладнення в багатьох випадках перевалки кліті.
3. Виникнення (у неавтономних системах) додаткових зусиль на кліть.
4. Необхідність посилення шийок валків, при протівигині опорних валків.
5. Необхідність посилення підшипникових опор частково і в автономних системах протівигину.
6. Необхідність подовження опорних валків (створення плеча) при їх протівигині.

У процесі експлуатації опорного валка виробляється і зменшується не тільки діаметр його бочки, але зношуються і опорні шийки. Вимірювання показують, що шийки верхніх опорних валків між перевалками отримують невеликий знос (до 0,1 мм), чому сприяє наявність сферичної прокладки між нажимними гвинтами і підшипниками і, отже, має місце самовстановлення опорних підшипників кочення щодо шийок опорного валка в період його навантаження. Нижні подушки не мають пристроїв самовстановлення, а попадання в зазор між шийками і внутрішнім кільцем абразивних часток і прослизання внутрішнього кільця щодо шийки викликають знос шийок за одну установку на 0,1-0,4 мм. Після зносу шийку піддають шліфуванню зі зменшенням її діаметра [28].

Шийки опорних валків працюють при зазорі  $\delta = 0,25-0,3$  мм (монтажний зазор). У шийках нижніх опорних валків з метою вироблення шийок. При відсутності зазору ( $\delta = 0$ ) шийка затиснена в підшипнику кочення, і внаслідок цього, в опорі валка виникає опорний момент  $M_0$ , що зменшує загальний прогин валкового вузла. У цьому випадку еюра тисків шийки на підшипник рівномірна по довжині контакту і рівнодіюча  $P/2$  цих тисків розташована по осі натискних гвинтів, відстань між якими дорівнює  $a$  (рис. 2.3).

При наявності зазору  $\delta$  під дією сили  $P$  шийки мають можливість переміщатися у вертикальній площині на деякий кут щодо опорної реакції  $P/2$ .

$$W_2 = \frac{PL_2^3}{48EJ} \left[ 1 + \frac{0,73 + 1,27n}{2+n} + 4,6 \frac{EJ}{R^2GL_2^3} \cdot \left( \frac{L}{L_2} - \frac{1}{2} \right) - 1,5 \left( \frac{a}{L} - 1 \right) \right], \quad (2.1)$$

де  $W_2$  - прогин опорного валка щодо довжини валка  $L_2$ ;  $P$  сила прокатки;  $L$  - довжина бочки опорного валка;  $L_2$  - довжина активної частини довжини бочки валка;  $a$  - відстань між опорними реакціями;  $E$  - модуль пружності матеріалу валка;  $J$  - момент інерції перерізу опорного валка;  $G$  - модуль зсуву матеріалу опорного валка;  $R$  - радіус опорного валка;  $n$  - коефіцієнт нерівномірності міжвалкового тиску.

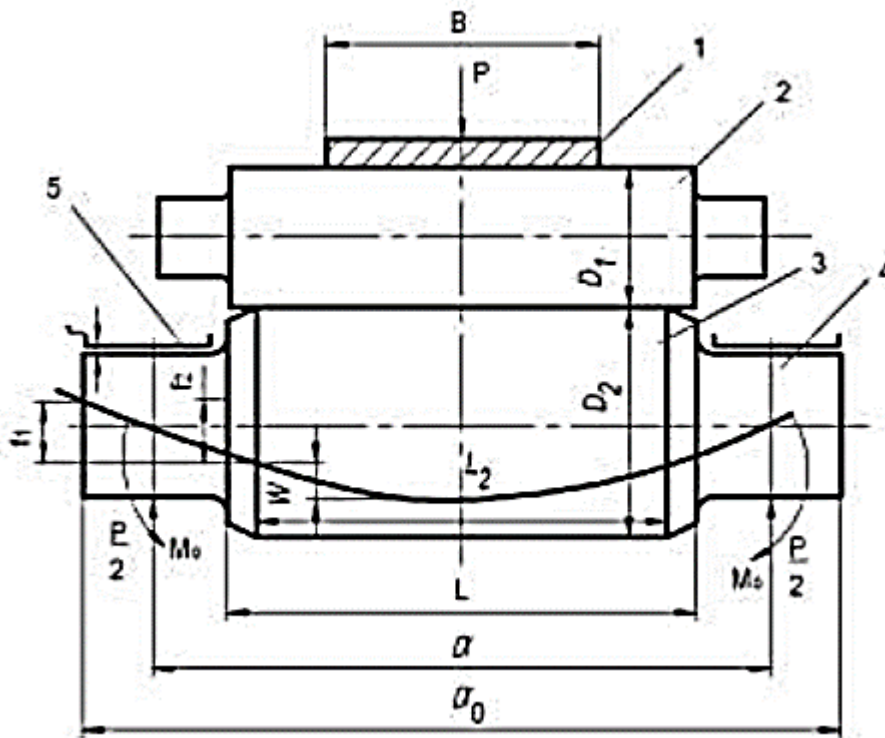


Рисунок 2.3 - Валковий вузол чотирьохвалкову кліт: 1 штаба; 2 – робочий валок; 3 - опорний валок; 4 - шийка опорного валка; 5 – підшипник кочення

Розрахунок прогинів валка за виразами виконаний стосовно до чистової кліт безперервного стану 1680 гарячої прокатки при  $P = 8$  МН,  $D_1 =$

610 мм і  $D_2 = 1240/1170$  мм. Як впливає з рис. 2.4 при  $a / L = 1,62$  (повне защемлення шийок валка) прогин опорного валка  $D_2 = 1240$  мм становить  $W_2 = 0,095$  мм. Зменшення діаметра валка до  $D_2 = 1170$  мм викликає збільшення прогину до  $W_2 = 0,103$  мм. Зсув рівнодіючої  $P / 2$  до бочки валка (зменшення параметра  $a$ ) призводить до істотного збільшення прогину до  $W_2 = 0,132$  і  $0,148$  мм (при  $a / L = 1,0$ ). У реальних умовах  $a / L = 1,1$ , і прогин буде відповідно менше.

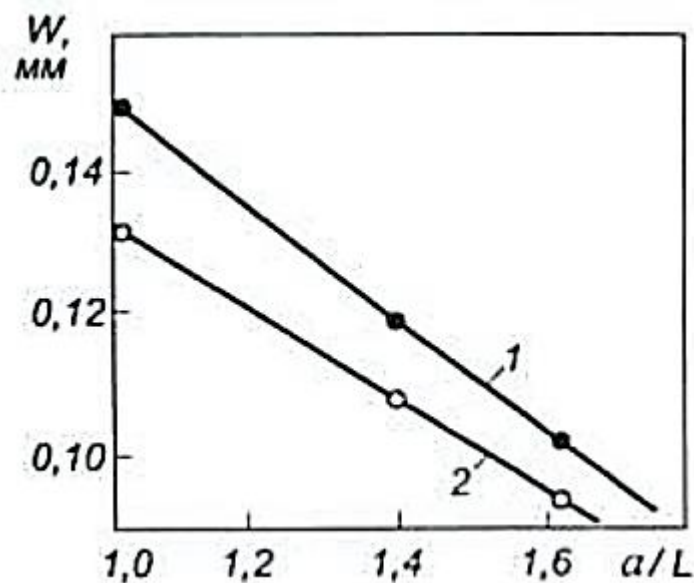


Рисунок 2.4 - Прогин опорного валка в залежності від ставлення  $a / L$ : 1 -  $D_2 = 1170$  мм; 2 -  $D_2 = 1240$  мм.

Таким чином, при  $f_1 = \delta = 0$  відбувається повне защемлення шийки і вигин валка мінімальний ( $a / L = 1,62$ ). При  $f_1 = \delta > 0,68$  мм відсутня навіть часткове защемлення шийок опорного валка і має місце максимальний вигин опорного валка. Нижче буде показано, що усунення защемлення шийок підвищує можливості регулювання міжвалкового розчину по ширині штаби.

### 2.3 Зношування валків

Симетричне профілювання робочих валків не може компенсувати нерівномірність їх зносу при тривалій прокатці штаби шириною  $B \approx \text{const}$ .



Таке зношування валків погіршує якість поперечного профілю штаби, викликає необхідність частішої їх заміни на нові.

Зменшення нерівномірності зносу досягається застосуванням, так званої, безпрограмної прокатки, в якій передбачається регулярна (після прокатки черговий штаби) зміна положення максимального зносу шляхом осьового зсуву робочих валків відносно один одного в протилежні сторони на 75 - 100 мм. Такий процес ліквідує на валках місцеві виробітку, а на штабі місцеві потовщення, збільшує термін їх служби в кліті. З метою істотного підвищення ефективності регулювання поперечного профілю прокочується штаби японськими фірмами «Хітачі сейсакусе» і «Сін ніппон сейтецу» розроблена конструкція шестивалкової кліті (рис. 2.5). Особливістю конструкції кліті є те, що між робочими 2 і опорними 4 валками розміщені проміжні валки 3; які можуть переміщатися в осьовому напрямку у відповідності з різними умовами прокатки. Проміжні валки можуть зміщуватися в протилежних напрямках щодо штаби 1 і встановлюватися по кромці в будь-якому положенні в залежності від ширини штаби. При цьому досягається можливість регулювати відповідний прогин робочого валка, зменшувати нерівномірність розподілу міжвалкових тисків і тисків під смугою ( $q_y$  і  $p_y$ ) і підвищувати площинність штаби. При регулюванні профілю штаби пристроями противигину 5 робочих валків ефект регулювання дещо знижується через контакт краю бочки одного з робочих валків з проміжним валком з кожного боку кліті. Це значною мірою компенсується вільним відгином краю бочки іншого робочого валка, позбавленого опори на проміжний валок. У цих клітях діаметр робочих валків на ~ 30% менше, ніж в клітях кварто, а хід проміжних валків в осьовому напрямку складає  $v \sim 300$  мм. В процесі експлуатації цих клітей було виявлено ряд недоліків, які обмежують їх використання. До основних недоліків відносять:

- Ефективність регулювання зменшується у міру збільшення ширини штаби, а при прокатці максимальної ширини стає аналогічної чотирьохвалковій, але з модулем жорсткості на 30% менше;

- Несиметричний по ширині знос всіх трьох пар валків: збільшений знос робочого валка меншого діаметру. Це скорочує міжперевалочний період роботи валків.[7,8]

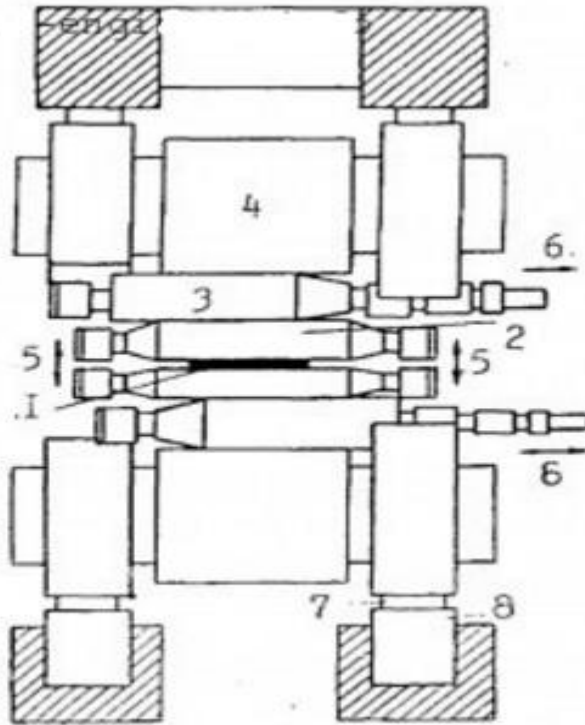


Рисунок 2.5 - Схема шестивалкової кліті:

1 - смуга; 2 - робочий валок; 3 - проміжний валок; 4 - опорний валок; 5 - напрям дії вигину робочих валків; 6 - напрям осевого переміщення; 7 - мездоза; 8 - гідроциліндр натискного пристрою.

#### ***2.4 Нерівномірний розподіл погонних сил на міжвалковому контакті і під половою***

Дослідження [30-31] показують, що характер зміни середніх нормальних контактних напружень  $p_{cp}$  і погонних сил  $p_y$  по ширині штаби в контакті з валком нерівномірний та обумовлений шириною штаби ( $B / L_B$ ), поперечними різнотовщинностями вихідних та кінцевих смуг, наявністю натягу кінців штаби ( $L_B$  - довжина бочки валка). У свою чергу, поперечна різнотовщинність готової штаби визначається також прогином валкового

комплекту. Відомо, що характер розподілу погонних сил  $p_y$  на контакті штаби з робочими валками в кліті кварто, поряд з нерівномірністю розподілу міжвалкових сил, надає певний вплив на власний прогин робочого валка [8], хоча в деяких роботах за розрахунком прогинів валків це не враховується [4,6,33].

Відповідно з експериментальними дослідженнями розподілу напружень  $p_{cp}$  і погонних сил  $p_y$  в чотирьохвалкових клітях з циліндричними валками можна стверджувати, що нерівномірність розподілу їх по ширині штаби обумовлена нерівномірністю розподілу величини відносного обтиснення  $\epsilon_B$ . При незмінних значеннях обтиску  $\epsilon_B$  нормальна напруга  $p_{cp}$  і погонна сила  $p_y$  повинні бути постійними по ширині штаби. Однак обтиснення  $\epsilon_B$ , як правило, нерівномірно по ширині штаби внаслідок прогину валків, наявності поперечної різнотовщинності і градієнта температур по ширині вихідної штаби (підкату), нерівномірності розподілу поздовжніх напруг натягу по ширині штаби на вході у валки і виході з них, впливу на штабу пристроїв гідроізгибу валків. Одні із зазначених факторів сприяють збільшенню параметрів  $\epsilon_B$ ,  $p_{cp}$  і  $p_y$  на крайових ділянках штаби, а інші - зменшення. Наявність уширення на крайках штаби вносить деякі корективи в характер розподілу параметрів  $\epsilon_B$ ,  $p_{cp}$  і  $p_y$ , зменшуючи їх значення. Так, за даними [31] прокатка підкату з плюсовою поперечною різнотовщинністю (опуклий поперечний профіль штаби) обумовлює великі значення погонної сили  $p_y$  в середній частині ширини штаби, а прокатка штаб з мінусовою поперечною різнотовщинністю обумовлює появу увігнутою епюри  $p_y$  з максимумом на крайках штаби. У першому випадку ставлення мінімальної і максимальної сил складає  $\sim 0,83$ , а в другому  $\sim 0,70$ . Така відмінність погонних сил обумовлено розходженням обтиску по ширині штаби і, очевидно, виникненням нерівномірно розподілених внутрішніх поздовжніх напружень  $\sigma_{вн}$ . При прокатці підкату з опуклим профілем (з позитивною різнотовщинністю) на крайових ділянках ширини готової штаби виникають додаткові розтягують напруги [31,34], що зумовлює зменшення

на цих ділянках середніх нормальних контактних напруг і відносини  $N_1 = p_1 / p_0$ .

Для теоретичного розрахунку розподілу по ширині штаби середніх нормальних контактних напружень і погонної сили відомі різні методи [6, 35, 36]. В роботі [35] пропонується об'ємний осередок деформації розбивати на кінцеве число поздовжніх смужок з кроком  $\Delta u$ . Деформацію кожної окремої смужки приймають двовимірної, тоді рішення об'ємної завдання зводиться до вирішення плоскої задачі.

### **3 ЗАХОДИ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ**

#### ***3.1 Встановити на проміжному рольгангові до і після койл-боксу, до – теплоізолюючі екрани, після – нагрівні печі***

Для того щоб уникнути перепаду температури по ширині та довжині прокату на проміжному рольгангу між кліттю №4 і койл-боксом треба встановити теплоізолюючі екрани, вони забезпечать збереження температури штаби.

Після койл-боксу треба встановити нагрівні печі які будуть нагрівати штабу доки вона прямує з койл-боксу до кліті №5 (рис. 3.1).

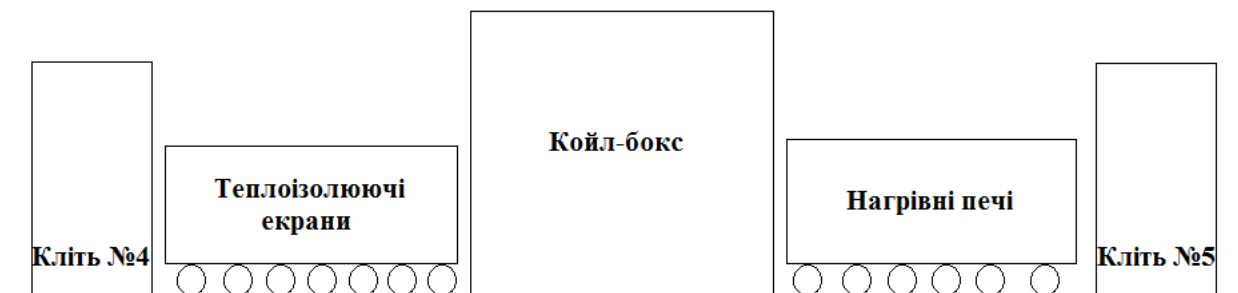


Рисунок 3.1 – Схема розташування теплоізолюючих екранів та нагрівних печей.

#### ***3.2 Підвищення якості робочих та опорних валків***

Для виготовлення робочих валків гарячої прокатки застосовують високоякісні сталі, що містять мінімальну кількість домішок (9X, 9X2, 9XФ, 9X2МФ, 9X2В, 9X2СВФ, 60X2СМФ). З наведених марок сталь 60X2СМФ є доевтектоїдною, а інші - заевтектоїдними. Загартування й відпустка валків забезпечують одержання високої твердості поверхні на глибину 15-20 мм на радіус (90-102 HSD). Сталі марок 9X, 9X2 і 9XФ, внаслідок малої

прогартовуємість, рекомендують застосовувати для виготовлення робочих валків діаметром менш 400 мм . Однак ці сталі застосовують і для виготовлення валків з  $D > 400$  мм .

Багатосторонні дослідження працездатності валків станів холодної прокатки представлені в роботі [38]. В цій роботі, зокрема, вказується про отримання значного підвищення довговічності валків багатовалковій стана після застосування силової обкатки їх при ВТМО (високотемпературна термотехніческая поверхнева обробка). Сутність ВТМО полягає в нагріванні поверхневого шару потрібної глибини до аустенітного стану, пластичного деформування поверхневого шару валків обкатний роликми при температурі аустенізації і наступного охолодження закалочної рідиною. При ВТМО з температурою аустенізації  $900^{\circ}\text{C}$  і тиску роликів 650Н довговічність валків діаметром до 160 мм зросла в  $\sim 2,5$  рази. Збільшення довговічності валків автори пояснюють появою в зміцнених шарах металу додаткових стискають напруг, які відсутні в серійних валках з поверхневою загартуванням.

Показано, що попереднє зміцнення робочих валків зі сталі 9Х2МФ у прокатній кліті ШСХП 2000 з зусиллям  $P = 20$  МН в перебігу 18 хв, при подачі технологічної мастила і при швидкості обертання валків 300-350 об / хв дозволяє збільшити твердість валків з 92-93HSD до 105-110HSD. Автори відзначають, що збільшення твердості поверхні валків при одночасному зменшенні шорсткості поверхню підвищує експлуатаційні властивості валків.

Автори [22], на підставі розробленої математичної моделі напруженого стану опорних валків після поверхневого деформування, встановили, що найбільший ефект попередньої обкатки опорних валків ШСХП досягається при боязких  $P_{\text{обк}} / P = 1,3-1,5$  (де  $P$  - зусилля прокатки; боязко - зусилля обкатки валка в силовому контакті з робочим валком). У зазначеному діапазоні відносних зусиль обкатки в поверхневому шарі валка забезпечується пластична деформація з його зміцненням і підвищенням

твердості. В обсязі валка формується залишкові напруги з підвищенням частки стискають напруг і зменшенням частки розтягуючих напруг.

Незважаючи на гідність попередньої силової обкатки (тренування) застосування зазначених способів в практиці обмежене внаслідок того, що по-перше кількість валків на використовуваних в дресирувальному стані даного цеху значно менше кількості валків чотирьох- або п'ятиклітєвому стане; під друге необхідність тривалої (12-18 хв) обкатки валків в кліті прокатного стану істотно знизить продуктивність стана, збільшує витрату електроенергії на одну тону готового прокату.

Більш продуктивним є номінування планових величин знімання поверхневого шару опорних валків широкосмугових станів, розглянутий у роботі [21]. Відомо [40], що поява втомних тріщин найімовірніше в зоні дії максимальних дотичних тангенціальних напруг які розташовуються на глибині (по радіусу)  $Z = 0,78b$  ( $b$  - полуширина контакту робочого і опорного валків, залежна від величини зусилля прокатки і матеріалу валків). Для усунення пошкодженого поверхневого шару і збільшення ефективності використання активного шару опорних валків ШСГП 2000 передбачають планові перешліфовки зі зніманням від 1,5 до 3 мм по діаметру після кожної їх завалювання в кліть і токарну обробку зі зніманням від 6 до 12 мм після 4-5 завалок в залежно від ступеня пошкодженості валка і номера кліті (то є в залежності від зусилля прокатки і числа тонуна - циклів їх роботи в кліті).

В умовах експлуатації опорних валків ШСХП 1680 використовують інший режим переточувань. Фактичні поточні переточування опорних валків знаходяться в основному в межах 1-3 мм на діаметр, а після утворення викрошки величина переточування на діаметр дорівнює  $\Delta D = 4-14$  мм. Із загальної кількості 350 установок валків величина одиничних переточувань становила (у всіх випадках після переточування шліфували валки на 0,5 мм):

$\Delta D$ , мм	Количество, шт	$\Delta D$ , мм	Количество, шт
0	6	3	145
1-2	98	$\geq 4$	101

В середньому на одну заварку доводиться  $\sim \Delta D = 3,6$  мм (з урахуванням зменшення діаметра на шліфування). Застосування невеликих величин знімання діаметра валків за одну переточування, як показує практика, не призводить до отримання економії робочого шару, а середня величина переточування більше рекомендованої технологічної.

З табл.3.1 випливає, що величина знімання діаметра валка під багатьох випадках істотно менше глибини залягання максимальних дотичних напружень, що не забезпечує високою довговічності роботи валків.

**Таблиця 3.1 Зміна розрахункової величини  $Z$  для клітей ШСХП 1680**

№ кліти	5	6	7	8	9	10
$P$ , МН	16,7	15,3	14,9	11,7	8,83	7,1
$Z$ , мм	4,0	3,9	3,8	3,3	2,8	2,5

Всі опорні валки чистової групи ШСГП 1 680 з вихідним діаметром  $D_{оп}=1240$  мм мають кінцеві врізи довгою 80-100 мм і глибиною 2-3 мм. Валки виготовлені зі сталі марки 9ХФ. Однією з проблем роботи ШСГП 1680 є часте викрошування поверхневого шару опорних валків. При цьому  $\sim 40\%$  всіх викрошок припадає на 2-3-ю завалювання в кліть. З метою підвищення працездатності валків виконані дослідження з зміцненню їх поверхні роликівим пристроєм (діаметр ролика 120 мм з криволінійною робочою поверхнею). Обкатному пристрій встановлювали на токарному верстаті і обробку виконували після переточування і шліфування. Швидкість



обертання валка 6-7 об / хв, поступальна швидкість роликового пристрою 35-40 мм / хв. Величина діаметрального обтиску  $\Delta h_{уп} \approx 0,08-0,12$  мм. Обкатці (зміцнення) піддавали кілька опорних валків. У процесі випробувань контролювали зміна твердості поверхні і характеристики їх експлуатації. На рис.3.1 показані характеристики зміни твердості опорного валка №68 по довжині бочки без урахування вріз для різних умов стану поверхні. У вихідному стані (крива 1) опорний валок має твердість в межах 34-37HSD. Після зміцнення роликовим пристроєм (діаметр ролика 120 мм, ширина робочої майданчики 6 мм, контактна розрахунковий тиск  $\sim 500$  Н / мм<sup>2</sup>) відбувається прирощення твердості на 2-5 HSD (в інших випадках прирощення твердості валка становило 3-7 HSD) (крива 2). Прокатка на валках 145,6 тис.т металу в кліті №9 стана викликала збільшення твердості валка до 44-45 HSD в середині і до 53-57 HSD на краях бочки (крива 3). Такий характер зміни твердості по довжині бочки спостерігали і на інших валках. Таким чином, при циклічному навантаженні опорного валка в кліті відбувається подальше збільшення твердості за рахунок укріпленого поверхневого шару. Менша твердість валка в середній частині, очевидно, обумовлена більшим виробленням валків в процесі експлуатації про що свідчать заміри зношених їх профілів. В той же час крайові ділянки отримали велику пластичну деформацію і, отже, зміцнення.

Характер зміни твердості по довжині бочки валка зберігся і в наступній установці в кліть (крива 4) і повторного зміцнення (крива 3). З рис.3.1 видно, що приріст твердості валка після повторного зміцнення відбулося на тих ділянках валка, твердість яких знаходилася в межах 41-42 HSD. При більш потужному накочувальні пристрої можна отримати великі величини твердості. У третій (обсяг прокату  $G = 179,1$  тис.т, з'їм  $\Delta D = 3$  мм) і четвертої ( $G = 146,0$  тис.т,  $\Delta D = 3$  мм) завалкою твердість валка склала відповідно 40-41 HSD і 42-43 HSD в середині бочки і 47-49 HSD і 45-46 HSD в крайніх точках виміру (40 мм від краю активної частини бочки). Зменшити величини твердості на краях бочок валків і, разом з тим, зменшити нерівномірність

розподілу твердості по довжині бочок задком можливо шляхом застосування кінцевих скосів довжиною  $C = 200-300$  мм.

Опорний валок №68 за 19 установок в різні кліті стану і прокатав 2506 тис.т, діаметр його склав 1 183 мм, а твердість поверхні в середині бочки виявилася рівною 47,1 HSD. Опорний валок № 68 після першої накатки працював три установки в кліті № 9, де силові навантаження є середніми для стану. Таким чином, валок після накатки (зміцнення) роликком, отримував додаткове зміцнення при невеликих пластичних деформаціях в кліті № 9. Це і забезпечило ефективність його експлуатації надалі.

З рис. 3.2. випливає, що в загальному випадку твердість поверхні валків зростає зі збільшенням сумарного знімання діаметра валка  $\Delta D\Sigma$ . Однак найбільше прирощення пластичних деформацій і твердості поверхневого шару відбувається після зменшення діаметра валка на 5-20 мм. У середній частині довжини валка максимальні значення твердості при будь-якому значенні  $\Delta D\Sigma$  не перевищують 35 HSD, а на краях бочок 60-64 HSD.

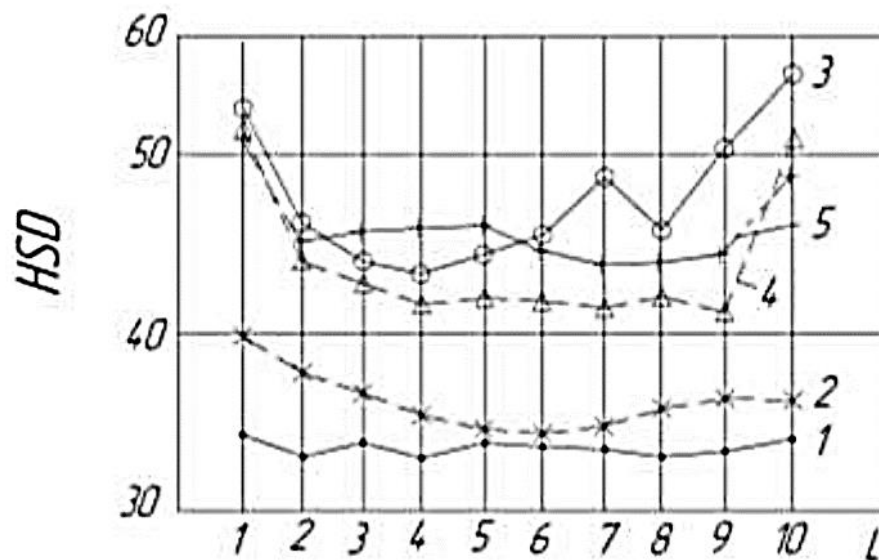


Рисунок 3.1 - Зміна твердості по довжині бочки валка №68 після зміцнення поверхні та експлуатації: 1 вихідна; 2- після зміцнення (один прохід ролика); 3- після прокатки 145,6 тис.т металу і знімання діаметра валка на  $\Delta D = 3$  мм; 4- після прокатки 62,1 тис.т металу і знімання діаметра на  $\Delta D = 3$  мм; 5 після повторного зміцнення поверхні валка при діаметрі  $D = 1234$ мм.

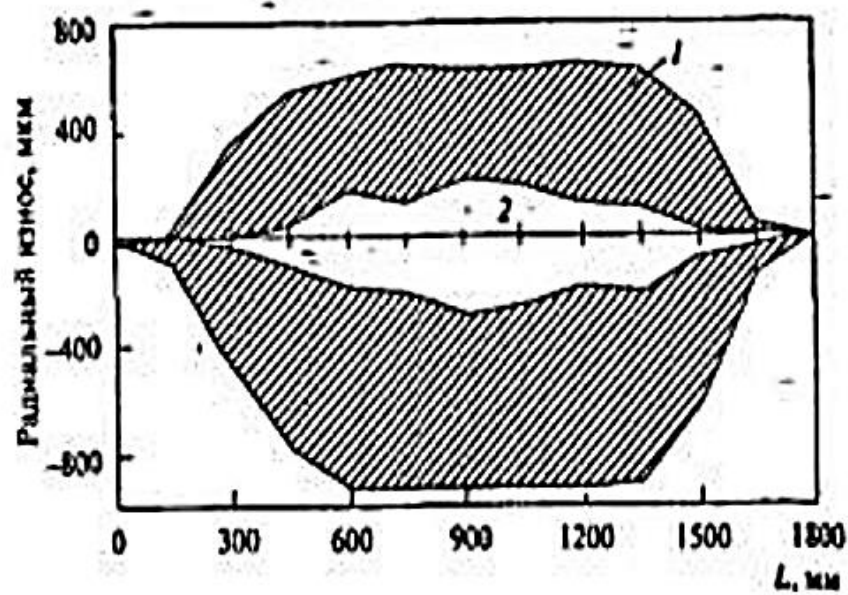


Рисунок 3.2 - Профіль зношування по довжині (L) робочих валків після прокатки 56 тис.т в чорновий реверсивної кліті:  
1 - з хромистої сталі; 2 - з швидкоріжучої сталі.

Дані рис.3.2 свідчить про доцільність застосування на ШСГП опорних валків з твердістю поверхні в межах 55-60 HSD за умови відсутності в них термічних (закалочних, залишкових) поверхневих розтягуючих напружень .. При такій твердості валків значною ступеня запобігається пластична деформація поверхневих шарів і поява викрошок.

Відомо [37,39], що твердість матеріалу валка змінюється (зростає) по глибині валка, що обумовлено збільшенням пластичних деформацій і еквівалентних напружень. Зміна твердості по глибині шару показано (на рис.3.3) свідчить про збільшенні твердості валка в зовнішньому (підповерхневому) шарі з подальшим зменшенням твердості після досягнення максимуму. Максимум твердості (при силі прокатки 11-12 МН розташований на відстані 2-3 мм від поверхні. На цьому ж рівні діють і максимальні еквівалентні напруження в тілі валка (табл.3.1).

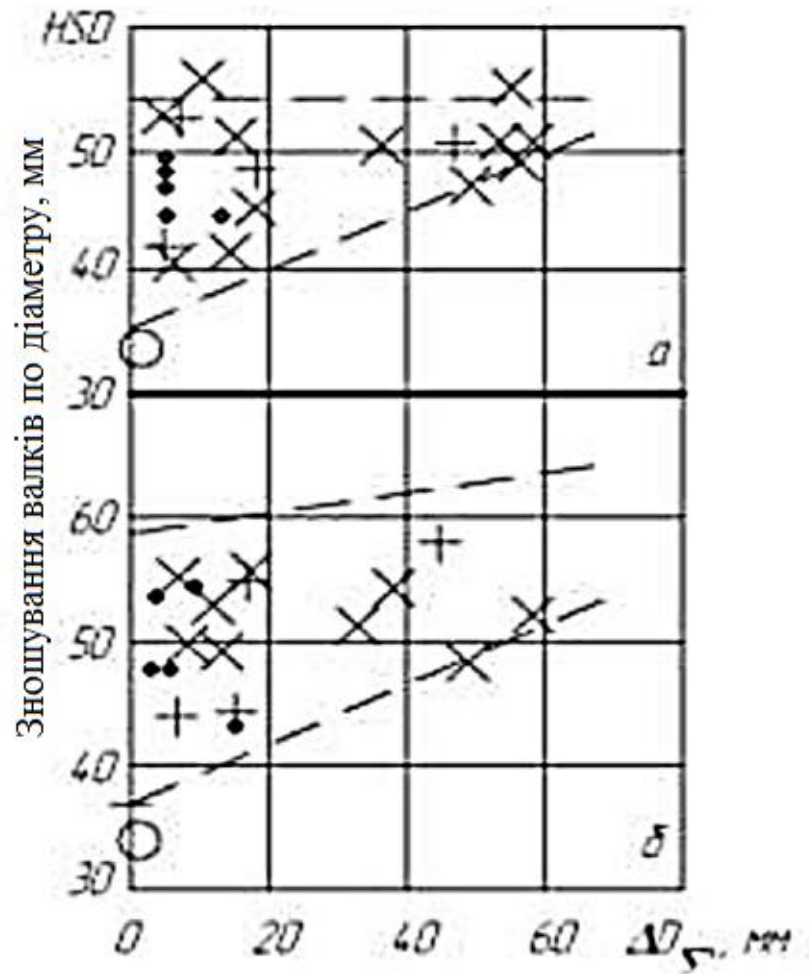


Рисунок 3.3 - Змінатвердості поверхні верхніх опорних валків в залежно від сумарного зменшення діаметра (а - по середині довжини; б – на краях бочки).

Кліті: ● - 5; × - 6; ∇ - 7; ^ - 8; + - 9; < - 10; ○ – вихідна твердість.

Режим шліфування опорних валків після зносу повинен виконуватися з урахуванням даних про розташування максимуму діючих еквівалентних напружень. У разі якщо величина шару, що знімається валка дорівнюватиме параметру  $Z$  ( $\Delta R = Z$ , де  $\Delta R$  - з'їм валка на радіус), то на поверхні валка вийде найбільш напружений шар з максимальними величинами еквівалентних напруг  $\delta_{\text{екв}}$ , які можуть виявитися вище допускаються  $[\delta_{\text{екв}}]$ , що може призвести до появи викрошування валка. Таким чином, під час переточування і перешліфування валків необхідно повністю видаляти шар валка з максимальними величинами твердості валка. З урахуванням наведених міркувань в умовах ШСГП нові опорні валки в першу чергу встановлюють у чистову кліть №10, де працюють 3-4 установки, а потім у

кліть №9, де працюють 2-3 установки. Подальший маршрут установок опорних валків по клітях виконують відповідно до наростанням сили прокатки.

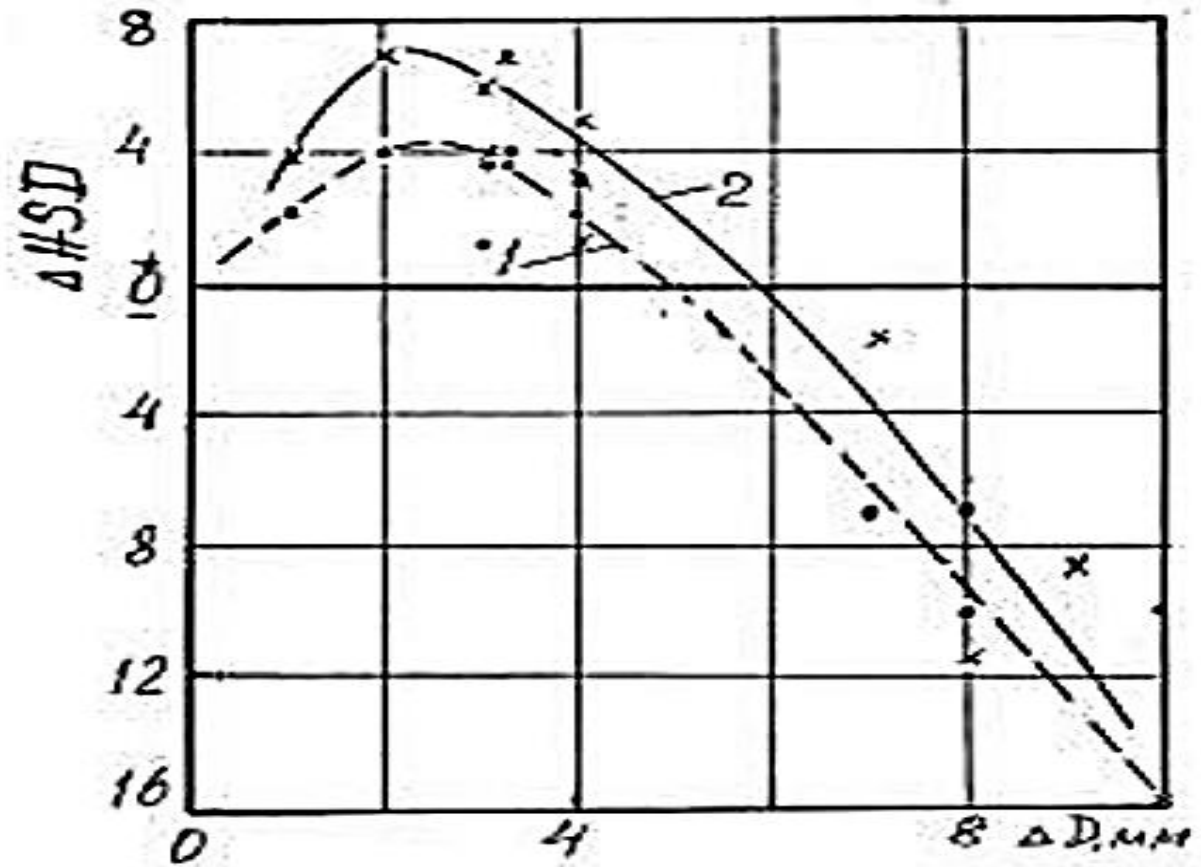


Рисунок 3.4 - Приріст твердості залежно від одиничного зменшення діаметра опорного валка ( $D = 1186-1240$  мм):

1 - в середині довжини бочки; 2 - на крайніх ділянках.

### **3.3 Встановити робочі валки**

#### ***S-подібної форми (валки CVC)***

Це профілювання забезпечує управління профілем штаби в процесі прокатки (рис 3.5) .. Два валка, відшліфовані у формі «пляшки» в кліті кварто примусово переміщують в осьовому напрямку протилежно один одному. При цьому по необхідності досягається отримання прямокутної, опуклою або увігнутою форми міжвалкового зазору в процесі експлуатації валків (поперечного перерізу штаби). Різниця діаметра валка CVC по довжині його

залежно від сортаменту штаб знаходиться в межах 0,3 - 0,8 мм. За даними випробувань S - подібне профілювання валків забезпечує зниження різнотовщинності штаб і підвищення експлуатаційної стійкості валків. Однак S - подібне профілювання робочих валків викликає нерівномірне зношування опорних валків, що погіршує умови регулювання товщини штаби по її ширині, а перенесення приводу на опорні валки підвищує бюджетні витрати на виготовлення і будівництво стану CVC.[41]

Підвищення точності штаб забезпечується також використанням несиметричних профілювань валків зі зміщенням вершин опуклостей двох суміжних валків (ПСВВ) на відстань  $C = (0,2 - 0,3)L$  відносно один одного. Міжвалковий зазор, форма якого змінюється при осьовому переміщенні валків, дає можливість регулювати поперечний профіль штаби та її площинність. У порівнянні з валками типу CVC, дане профілювання дозволяє регулювати розміри міжвалкового зазору при меншому осьовому зміщенні валків і простіше у виготовленні.

Валки типу CVC встановлюються в клітях чистової групи.

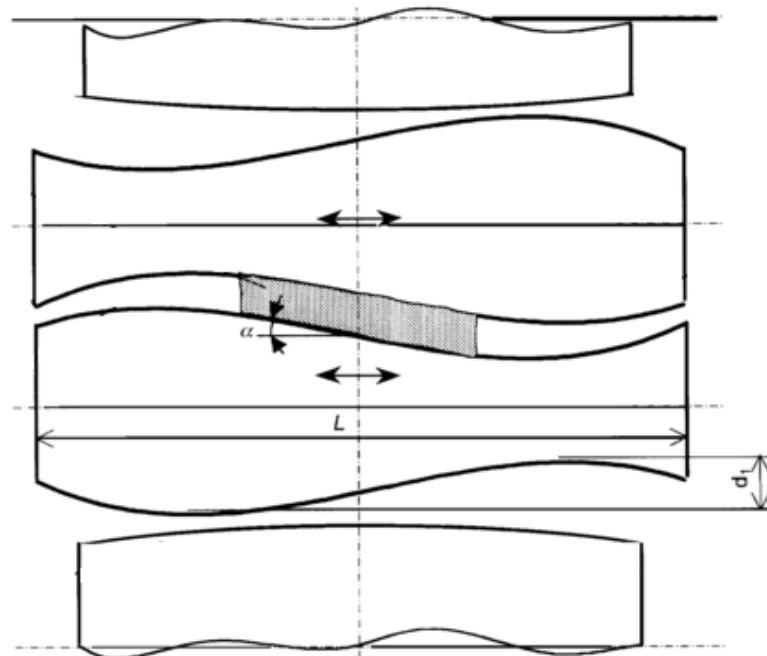


Рисунок 2.6 – Профілювання валків типу CVC

### 3.4 Економічне обґрунтування

В даний час на станові практично відсутні спеціальні пристрої та методи впливаючі на поперечну різновшчинність штаб.

Недоліками технологічного процесу на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» є:

- Необхідність прискорення обертання валків всіх 5-7 клітей після захоплення штаби моталкою, на що витрачається значна кількість електроенергії;

- Складності в оперативному регулюванні деформаційно-температурного режиму прокатки штаб в 5-7 клітях для отримання необхідних механічних властивостей;

- При прокатці штаб при знижених кінцевих температурах до 750-800°C

здіянні всі 5-7 клітей, що призводить до суттєвих втрат електроенергії при деформації металу.

Заходи щодо зменшення поперечної різновшчинності:

1. Встановити на проміжному рольгангові до і після койл-боксу, до – теплоізолюючі екрани, після – нагрівні печі. Це дасть змогу вирівняти температуру по всій довжині та ширині штаби, що наблизить до раціональної різновшчинності.

2. Підвищити якість робочих та опорних валків. Дозволить практикувати штаби з мінімальною різновшчинністю та мінімальним зношуванням робочих та опорних валків.

3. Встановити профілювання робочих валків S-подібної форми (валки SVC). S - подібне профілювання валків забезпечує зниження різновшчинності штаб і підвищення експлуатаційної стійкості валків.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### *4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища*

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки відносяться: рухомі машини і механізми, запиленість і загазованість повітря, вібрація, шум, підвищена температура повітря, електробезпека та пожежонебезпека [42].

Якісний склад пилу наведено в табл. 4.1.

Ступінь впливу пилу на організм людини залежить від його фізико-хімічних властивостей, токсичності, концентрації, дисперсності.

При вдиханні запиленого повітря частина пилових частинок виводиться з організму. Це обумовлено захисними рефлексами (чханням, кашлем). Інша частина пилових частинок проникає вглиб легенів, викликаючи роздратування з'єднувальних тканин, сполучних тканин, тобто розвивається пневмоконіоз.

Таблиця 4.1 - Якісний склад пилу при прокатці

Найменування	Вміст (%)
Оксиди заліза	55,6 – 96,4
Оксиди кальцію	3 – 16,4
Оксиди магнію	1,3 – 1,6
Оксиди марганцю	0,4 – 3
Кремнезем	5,4 – 19
Вільний вуглець	1,5 – 4

У цеху гарячої прокатки багато основних і допоміжних технологічних



операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних елементів у пилу пропорційно хімічним складом прокатуваної сталі. Пил містить: 73,96% Fe; 0,1% C; 0,51% Mn; 0,39% S; 25,04% O<sub>2</sub>.

Частинки пилу прокатного виробництва мають форму нерівномірних гранул, як правило, з одним або кількома гострими краями. Пил, що утворюється при прокатці і обробці металу, негативно впливає на організм людини. Медичні спостереження показують, що особи, які постійно працюють в атмосфері, яка містить зважений металевий пил, більш схильні до захворювання грипом, бронхітом, гострим захворюванням верхніх дихальних шляхів і запаленням легенів.

Пил, переважно фіброгенної дії, становить за фактом 22 мг/м<sup>3</sup>, в той час як, при нормативних значеннях 4,0 мг/м<sup>3</sup>. Перевищення ГДК пилу від норми становить більше 5,5 разів і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Іншим фактором прокатного стану, що характеризує санітарно-гігієнічні умови праці оператора в цеху, є загазованість. Наявність різних газів в атмосфері прокатного цеху обумовлено порушеннями технологічного режиму, несправністю і недосконалістю устаткування. До основних джерел виділення шкідливих газів відносяться нагрівальні пристрої, прокатні стани, ріжучі механізми та інше технологічне обладнання.

У прольотах прокатних станів, на ділянках різання і складування металу, крім технологічних газів, в атмосферу надходить значна кількість газів, що утворюються при згорянні мастильних матеріалів (вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), вуглець оксид (CO), сірчистий ангідрид (SO<sub>2</sub>)) [43].

Склад газу по карті умов праці: ангідрит хромовий - 0,011 мг/м<sup>3</sup>, марганцю оксиди (аерозоль) - 0,190 мг/м<sup>3</sup>, вуглецю оксид - 22,2 мг/м<sup>3</sup>.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, випромінюваного нагрітими заготівками та обладнанням стана. Велика кількість теплового випромінювання має місце на робочих місцях біля

нагрівальних печей, у прокатних станів, на ділянках ножиць, а також у штабелів гарячого металу на складах готової продукції. Наявність численних істочників теплового випромінювання вимагає дотримання спеціальних заходів щодо створення на цих ділянках нормальних санітарно-гігієнічних умов.

Інфрачервоне випромінювання від нагрівальних печей, нагрітого металу становить  $2950 \text{ Вт/м}^2$  при нормативних значеннях  $140 \text{ Вт/м}^2$ . Перевищення допустимої норми інфрачервоного випромінювання становить  $2810 \text{ Вт/м}^2$  і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми, супроводжується транспортування металу по рольгангах, прокатка на стані, різка на ножицях.

Шум, вироблений від прокатки металу прокатним станом, рольгангами, ножицями та іншими приладами становить,  $95 \text{ дБА}$  при нормативних значеннях  $80 \text{ дБА}$ . Перевищення шуму на  $15 \text{ дБА}$  відносить цей вид шкідливого впливу також до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Окремі ручні операції в прокатних цехах сполучені з шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечні в цьому відношенні наждачна зачистка поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту.

Істотне значення для санітарно-гігієнічної характеристики прокатного виробництва мають метеорологічні умови в цеху. Метеорологічні умови в цеху визначаються температурою, вологістю і швидкістю повітря. Температура повітря на гарячих ділянках прокатного цеху значно перевищує температуру зовнішнього повітря.

Швидкість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодний період року у виробничих приміщеннях прокатного цеху оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною  $0,3-0,5 \text{ м/с}$ . У літній час

допускається швидкість руху повітря 0,3-1 м/с. Проблема створення нормальних метеорологічних умов праці в прокатному цеху вирішується в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень за допомогою аерації, застосування припливно-витяжної вентиляції і кондиціонування повітря.

Дана оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу. Розроблено карту умов праці (табл. 4.2) для основної професії - оператора стана «1680».

Таблиця 4.2 - Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу оператора стана «1680»

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ПДК, ПДЗ)	Фактичне значення	III клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактор, за зміну %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : I клас небезпеки - ангідрит хромовий	0,010	0,011	1,1 р.			86,3
	II клас небезпеки, - оксиди марганцю (аерозоль)	0,050	0,190		3,8р.		86,3
	III - IV клас небезпеки - вуглецю оксид	20,0	22,2	1,11р			86,3
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	22			5,5р.	90
3	Вібрація (загальна і	92	99			7	90

	локальна), дБ						
4	Шум, дБА	80	95			15	90
8	Мікроклімат у приміщенні: теплий період						
	- температура повітря, °С	13-19	32			13	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,5	0,24				90
	- відносна вологість, %	75	50				90
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	2950			2950	90
10	Важкість і напруженість праці	Категорія важкості - важка ІІІ Напруженість праці - напружена					
11	Загальна оцінка умов праці			2	1	5	

Аналіз карти умов праці показав, що оператор відноситься до важкої категорії робіт.

Згідно з даними карти умов праці робітник має право на пільгову пенсію, на додаткову відпустку, профілактичне харчування.

Так як в цеху проводиться гаряча прокатка, то і в холодний, і в теплий період року температура повітря вище норми. Окалина, що відлітає і осколки від гарячих злиwkів, вібрація, виділення парів води, шум, пил, а також фізичні фактори, злиwки, що рухаються з великою швидкістю і ударами - все це є шкідливими чинниками.

На підставі проведеного аналізу пропонуються заходи щодо зменшення та виключенню цих шкідливих факторів.

## **4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху горячої прокатки**

### **4.2.1 Вентиляція і кондиціонування повітря**

Для створення сприятливих умов робочим, зайнятим на гарячих роботах, а також для зниження температури, в закритих приміщеннях необхідно охолоджувати повітря у відповідних установках. Найбільш простим методом охолодження повітря є його охолодження в камерах в результаті випаровування рециркулюючої води. Випаровування водяного пилу викликає охолодження повітря, засмоктуваного в камеру вентилятором. Витрата води, що йде на випаровування в стічному резервуарі поповнюється за допомогою поплавкового клапана від водопровідної мережі.

При температурі охолоджуваного повітря близько 20-30°C в повітряноохолоджуючих камерах випаровуванням рециркулюючої води охолоджують повітря на 6 – 8 °С, а при температурі повітря близько 35-40 °С на 10-15 °С [44].

Для найбільшого охолодження повітря, що подається на пости керування прокатними станами, що подають рольгангами, ножицями і пилами гарячого різання або для обдування робочих місць, застосовуються спеціальні кондиціонери, що дозволяють подавати повітря з початковою температурою близько 13-15°C, що забезпечує температуру повітря в приміщеннях пультів керування або на робочих місцях біля 20-22 °С. При цьому температура холодоносія становить 6-8°C.

На постах управління прокатного стану застосовують охолоджене повітря спеціальних кондиціонерів з холодильними установками компресорного типу. В якості хладагента найчастіше застосовується фреон.

Крім вентиляції з охолодженням повітря в літній час широко застосовується охолодження повітря зрошенням його водяним пилом, безпосередньо у робочих місць водорозпорозувальними форсунками, при цьому розпилювана вода випаровується в повітрі, охолоджуючи його. При зрошенні повітря невелика кількість найтоншого водяного пилу потрапляє на одяг і на відкриті частини тіла робітників, знижуючи при цьому температуру одягу на 4-5 °С і температуру відкритих частин тіла на 1-2 °С.

Охолодження повітря зрошенням його водяним пилом можна застосовувати у нагрівальних печей, прокатних станів, ножиць і пил, в місцях таврування заготовок, у штабелів гарячих заготовок на складі, близько холодильників, змочувачів та інших пристроїв.

У зв'язку з тим, що в процесі виробництва агрегати прокатних цехів виділяють в приміщення значну кількість тепла, пилу і газів, цех має розвинену вентиляційну систему. Витяжна вентиляція служить для видалення з будівлі цеху нагрітого і забрудненого повітря і викиду його в атмосферу. Припливна вентиляція служить для подачі в цех чистого повітря замість вилученого [42].

Цех, як правило, обладнаний системою як природної, так і механічної припливно-витяжної вентиляції.

У прокатному цеху застосовують різні способи повітрообміну, залежно від яких вентиляція підрозділяється на місцеву і загальну, або, як часто її називають загальнообмінну.

У зонах виділення шкідливих речовин застосовуються місцеві вентиляційні пристрої, такі як повітряне душення і повітряні завіси.

Повітряне душення застосовується в цеху на місцях постійного перебування робітників, що піддаються впливу інфрачервоного випромінювання інтенсивністю 350 Вт/м<sup>2</sup>. Для усунення перегріву організму робочих припливне повітря спрямовується безпосередньо на поверхню тіла робочого у вигляді так званого повітряного обдування.

Повітряні завіси застосовують з метою запобігання надходження зовнішнього холодного повітря у виробниче приміщення через відкриті двері або ворота і захисту людей від його впливу. Повітряна завіса використовується також у прорізів в огорожі технологічного обладнання як перешкоду вибивання гарячого забрудненого повітря в приміщенні та в інших випадках, коли необхідно перекрити повітряний потік через отвір.

Витяжні зонти служать для уловлювання потоків шкідливих речовин, спрямованих вгору. Вони застосовуються, коли джерело утворення пилу, парів і газів переміщається на значній площі робочого місця, як в горизонтальній, так і вертикальній площині.

При загальнообмінній вентиляції шкідливості поширюються повітряними потоками по всьому цеху, тому роль припливної вентиляції полягає в розведенні шкідливостей до допустимих норм концентрацій.

У цеху застосовують змішану вентиляцію, тобто одночасно загальну і місцеву.

При механічній вентиляції переміщення повітря досягається за рахунок використання механічної роботи вентиляторів. При природній вентиляції переміщення повітря здійснюється під впливом різниці питомої ваги зовнішнього повітря і повітря всередині цеху, а також в результаті дії вітру.

У прокатному цеху, повітря, нагріте від обладнання, розпеченого металу і нагрівальних пристроїв, піднімається вгору і видаляється через стулки аераційних ліхтарів в даху будівлі (рис. 5.1).

Для здійснення аерації є достатні за площею і правильно розташовані отвори для введення свіжого і видалення забрудненого повітря. У холодну пору року зовнішнє повітря вводять на висоті, з якою повітря, переміщаючись до робочої зони, нагрівається до необхідної температури в результаті перемішування з внутрішнім повітрям [44].

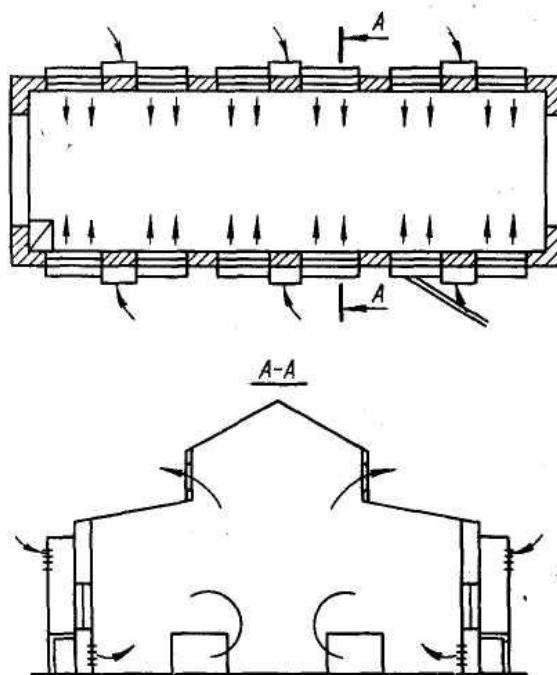


Рисунок 4.1 - Схема аерації приміщень

#### 4.2.2 Освітлення в цеху

У цеху гарячої прокатки застосовується природне і штучне освітлення. Для освітлення приміщень, як правило, передбачають газорозрядні лампи низького і високого тиску (люмінесцентні, ДРЛ).

Норму освітленості вибирають залежно від характеристики зорової роботи, види якої по напруженості ділять на вісім розрядів. Розряд залежить від величини об'єкта розрізнення, а подразряд від фону і контрасту між об'єктом розрізнення і фоном (табл. 4.3).

Найменша освітленість робочих поверхонь і території підприємств, які потребують обслуговування при аварійному режимі, повинна складати 5% робочого освітлення, але не менше 2 лк всередині будівель і 1 лк для території. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати найменшу освітленість на підлозі основних проходів, на землі і на сходах 0,5 лк у приміщенні і 0,2 лк на відкритих територіях. Правильне освітлення робочих місць в цеху має велике значення для створення безпечних умов праці.



Природне освітлення цеха здійснюється через світлові прорізи і світлові ліхтарі в даху будівель, тому його поділяють на бічне і верхнє. Раціональним вважається природне освітлення, що забезпечує хорошу рівномірність освітлення. Освітленість, створювана денним природним світлом, змінюється в широких межах: протягом декількох хвилин вона може збільшуватися або зменшуватися в кілька разів [42].

Таблиця 4.3 - Прийняті значення освітленості в цеху

Назва ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість (лк) і коефіцієнт запасу при люмінесцентних лампах			Аварійне освітлення (лк)	
		Система комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Для тривалих робіт	Евакуаційне
Стан 1700	VII	-----	150	1,5	10	0,5

Штучне освітлення в залежності від розташування джерела світла поділяють на загальне, місцеве і комбіноване. Загальне освітлення застосовується для освітлення прольотів цехів. Місцеве освітлення застосовується в якості додаткового при виконанні точних робіт, на пультах управління, на верстатах, при роботах, пов'язаних з ремонтом обладнання та нагрівальних пристроїв.

В освітлювальних установках прокатного цеху застосовуються лампи розжарювання і газорозрядні лампи. Для місцевого освітлення застосовуються лампи розжарювання. З газорозрядних джерел світла в освітлювальних установках цеху застосовуються люмінесцентні лампи і ртутні лампи високого тиску з виправленою кольоровістю типу ДРЛ.

У виробничих приміщеннях прокатного цеху застосовуються світильники наступних типів: «Універсаль» і «Люцетта цільна» - переважно прямого світла відкритого типу.

Крім робочого освітлення в прокатному цеху влаштовують аварійне освітлення. Воно призначене для безперебійного обслуговування агрегатів та устаткування у разі виходу з ладу робочого освітлення і діє від незалежного джерела електроенергії.

#### ***4.2.3 Захист від виробничого випромінювання***

Одним з найбільш істотних факторів, що визначають несприятливі умови праці в цеху є тепловипромінювання. Для захисту робітників від тепла, випромінюваня прокатувальним металом, встановлюють водяні екрани між робочим місцем і місцем проходження гарячого металу.

Розпечений прокатуваний метал являє собою переміщувані по цеху джерела тепла. Промениста енергія на відстані 1м від прокату становить до 279 – 349 Вт/м<sup>2</sup>.

Для зменшення тепловипромінювання в цеху максимально знижують температуру джерел променевого тепла. Зниження температури джерел випромінювання тепла в прокатних цехах практично здійснюються збільшенням товщини стінок агрегатів, теплоізоляцією їх зовнішньої поверхності або охолодженням цих поверхностей.

Для захисту працюючих від тепловипромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання і працюючими екрани або завіси, що затримують інфрачервону радіацію [43].

При застосуванні порожнистих екранів з циркулюючої водою або при безперервному змочуванні водою простих екранів, виконаних з листової сталі, теплове випромінювання затримується повністю.

При екрануванні необхідно залишати між поверхнею і екраном повітряний проміжок (80 - 200 мм) для вільної циркуляції повітря. Якщо за

характером виробництва потрібно вести спостереження за процесами, то екрани виконуються з прозорих матеріалів або густої металевої сітки.

Водяні завіси у вигляді суцільної пелени води, а також водоструменевої або водоповітряної завіси дозволяють зменшити вплив тепловипромінювання на робочих місцях на 60 - 85%, причому видимість крізь завіси істотно не погіршується. Водяні завіси слід застосовувати, наприклад, у робочих вікон нагрівальних печей, у місцях маркування гарячого металу і т.п.

Засобами індивідуального захисту від тепловиділень є густі металеві сітки або брезентові штори зі вставленими в них синіми стеклами. Густа мідна сітка знижує теплове опромінення особи приблизно в 3-4 рази, а шторки захищають особу від тепловипромінювання майже повністю. Велике значення у боротьбі з променистим теплом і теплом, що передається конвекцією, має спеціальний одяг. Матеріал для спецодягу застосовують з незаймистих тканин, стійких проти впливу променистого тепла, міцних, м'яких, що володіють великою повітропроникністю для полегшення повітрообміну тіла людини, що працюють з навколишнім середовищем.

#### ***4.2.4 Захист від виробничого пилу***

Пил при прокатці утворюється в результаті подрібнення окалини валками і випаровування внаслідок миттєвого збільшення тиску та підвищення температури.

Основними заходами щодо боротьби з пилом у прокатному цеху є: введення раціональних технологічних процесів, застосування ефективної герметизації і аспірації всіх джерел, зволоження пилу водою або паром; пристрій спеціальної пилоуловлювальної вентиляції від місць пилоутворення з очищенням повітря перед викидом його в атмосферу через систему фільтрів; регулярне прибирання пилу з робочих місць спеціальними

пилососами, застосування індивідуальних засобів захисту (респіраторів, окулярів, спецодягу тощо).

Природний повітрообмін, як правило, не забезпечує нормальних умов праці на робочому місці. Тому в таких випадках застосовується вентиляція і водорозпилення.

Найбільш простим способом знепилювання повітря є зрошення водою через форсунки. Ефективність дії пересувних душуючих установок підвищується при додаванні розпорошеної води. Для підвищення ефективності повітряного душування забезпечують високу дисперсність і правильне дозування розпилючої води. У цьому випадку з периферії повітряного струменя від агрегатів створюється завеса із дрібнорозпиленої води, що покращує метеорологічні умови на робочому місці.

#### ***4.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації***

Зниження шуму звукоізоляцією досягається шляхом розташування оператора в звукоізолюючій кабіні, звідки він спостерігає та керує технологічним процесом, забезпеченою вікном з 2 - або 3-шаровим склінням, герметичними дверима і спеціальною системою вентиляції. Від впливу прямого звуку оператори захищаються за допомогою екранів, які розташовуються між робочим місцем і прокатним станом.

За допомогою звукоізолюючих перешкод можна знизити рівень шуму на 30 - 40 дБА. Ефективними звукоізолюючими матеріалами є метали, бетон, дерево і т.п.

Для зниження шуму в приміщенні проводять його акустичну обробку, тобто наносять звукопоглинаючі матеріали на внутрішні поверхні, а також розміщують в приміщенні штучні звукопоглиначі.

Інтенсивність вібрацій деталей агрегатів, маючи великий випромінювальний шум поверхні (корпусу агрегатів, кожухів, кришок і т. п.), зменшують таким шляхом [42]:

- пристрої гнучких зв'язків між цими деталями і вузлами агрегату, що викликають вібрації;
- заміна металевих деталей на пластмасові або інші матеріали;
- заміна підшипників кочення підшипниками ковзання у випадках, коли переважаючим шумом є шум підшипників.

Ослаблення вібрації досягається застосуванням віброізоляції віброгасильних підстав під робоче місце оператора.

Віброізоляція є засобом боротьби з вібрацією і шумом. Добре зарекомендували себе віброізольовані опори, які застосовуються при установці виробничого обладнання. Пружинні амортизатори використовують для віброізоляції майданчиків, вентиляторів тощо.

Робітники, що працюють на машинах і агрегатах, що передають вібрацію на робочі місця, працюють у віброгасильному взутті, у разі необхідності застосовують наколінники.

Для захисту від вібрацій застосовуються способи, основними з яких є: застосування безперервних процесів замість періодичних; застосування віброізольованих і вібропоглинаючих матеріалів і конструкцій; якісний монтаж обладнання та його динамічне балансування; застосування динамічних гасителів вібрації.

### ***4.3 Заходи з електробезпеки***

У цеху велика частина електроустаткування працює при напрузі до 1000 В. Різні контрольно-вимірювальні прилади, пристрій автоматики, штучне освітлення виробничих приміщень живляться від електричної мережі. Застосовують і висока напруга – 6 кВ.

На безпеку електрообладнання суттєво впливають умови виробничого середовища, від яких залежить стан ізоляції і електричний опір тіла людини.

Відділення станового прольоту відноситься до сухого, жаркого і запиленого приміщення, так як відносна вологість 50%, що не перевищує

60%, температура повітря  $+33^{\circ}\text{C}$ , що перевищує на  $3^{\circ}\text{C}$  і має струмопровідний пил оксиди заліза.

Підвищена температура в приміщенні прискорює старіння ізоляції, що призводить до зниження її електричного опору і навіть до руйнування. При підвищеній температурі повітря знижується опір тіла людини внаслідок поту і зволоження шкіри.

У цеху відділення станового прольоту за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки температура повітря перевищує і має струмопровідні підлоги.

Практично всі приміщення, в яких встановлено електрообладнання, за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відносимо до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки приміщення цеху гарячої прокатки спекотні, що викликають значні виділення вологи на тілі людини.

При пошкодженні ізоляції електрообладнання напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станини і т.д.), яке в нормальному положенні не знаходяться під напругою. При зіткненні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека ураження електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при дії електричного струму через дугу, безпосередньо зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами (випадковому не викликавши виробничою необхідністю, або вплив помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів), при дотику до металевих частин обладнання, що випадково опинилося під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцій, що випадково опинилися під напругою; при впливі крокових напруг і ін.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне обладнання: електричний привід, електрообладнання підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні та освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні заходи захисту від ураження електричним струмом [45]:

- захист від дотику до струмоведучих частин;
- захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою;
- захист від струмів надмірної сили (короткого замикання);

У першому випадку застосовують огорожі та ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги. У другому випадку застосовують захисне заземлення, занулення, пристрій автоматичного відключення електроустановки.

До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки та ін.

#### ***4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки***

Джерелами пожежної небезпеки в цеху гарячої прокатки є: наявність легкозаймистих і горючих рідин, горючих (природний, коксовий і доменний) газів, лакофарбових матеріалів і розчинників, промаслених матеріалів; виділення горючих сумішей і пилу в процесі виробництва на агрегатах і вентиляційних установках; іскріння в електроустановках і статичну електрику.

Усі виробничі, допоміжні та підсобні приміщення цеху повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння.

Пісок використовується для гасіння невеликих вогнищ загорання горючих рідин (різні масла, солярки), електрокабелів, електропроводки та ін. Гасіння піском проводять накиданням його на палаючу поверхню. Пісок також використовується для видалення невеликих патьоків горючих рідин, з метою обмеження розтікання горючих рідин при аварії, захисту цінного

обладнання від дії теплових променів при пожежі (накидання на обладнання).

Повість використовується для гасіння невеликих вогнищ загорянь. Накидається на палаючу поверхню і ізолює її від кисню, повітря.

Вуглекислота не проводить струм, тому вона може застосовуватися для гасіння пожеж в електроустановках, що знаходяться під напругою до 1000В. У цеху використовуються ручні вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-3, ВВ-5, ВВ-8 з балонами ємністю відповідно 2, 3, 5, 8 літрів.

У цеху широко застосовується повітряно-пінна установка. Вона встановлюється для гасіння пожеж в початковій стадії. Її можна успішно використовувати при займанні масла в ваннах, на ділянках потокових ліній виготовлення кріпильних виробів [46].

У цеху передбачена пожежна сигналізація типу ЕПС - електронна пожежна сигналізація, забезпечена термодатчиками і датчиками полум'я.

Поширеним видом зв'язку є пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з об'єктом, що охороняється, не вимагаючи при цьому передачі адреси пожежі.

#### ***4.5 Розрахунок шумоізоляції kabіни оператора стана «1680»***

Рівень звукового тиску на відстані «r» від джерела шуму, дБА:

$$L_r = L_1 - 20 \lg \left( \frac{r}{r_1} \right), \quad (4.1)$$

де  $L_1$  – рівень звукового тиску на відстані від джерела шуму,  $L_1=95$  дБА;



$L_r$  – нормативне значення рівня звукового тиску,  $L_r=80$  дБА;

$r_1$  – приймаємо рівним 1 м.

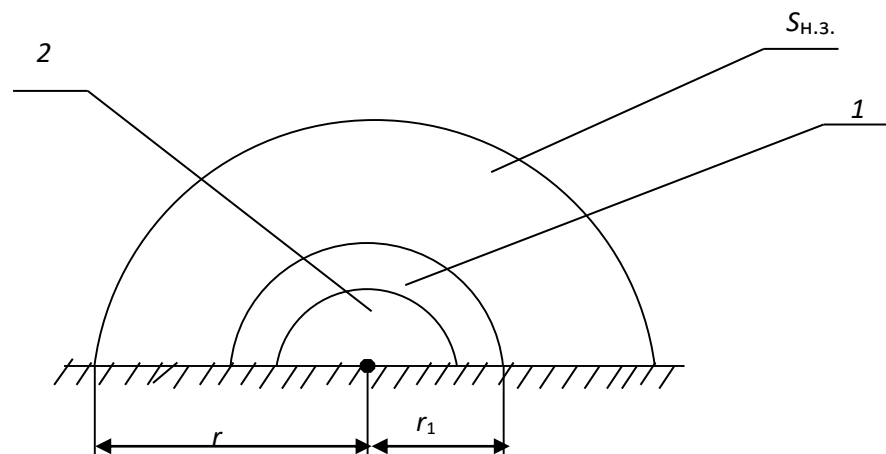
Підставляючи числові значення у формулу, знаходимо значення «R»:

$$r = 10^{\left(\frac{L_1 - L_r}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{95 - 80}{20}\right)} = 5,01 \text{ м.}$$

Площа небезпечної зони в цьому випадку буде:

$$S_{\text{н.з.}} = \pi(r^2 - r_1^2) = 3,14(5,01^2 - 1^2) = 75,67 \text{ м}^2.$$

Схема площі небезпечної зони показана на рисунку 5.1.



$S_{\text{н.з.}}$  – площа небезпечної зони; 1 – зона шуму; 2 – джерело шуму.

Рисунок 4.2 – Схема визначення площі небезпечної зони.

Пристрій звукоізолюючих кабін є ефективним і найбільш поширеним засобом захисту виробничого персоналу від шуму.

Необхідне зниження шуму кабіною, дБА:

$$R_{\text{каб.н.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}}, \quad (4.2)$$

де  $L_{\text{ш}}$  – октавний рівень звукового тиску на робочому місці галасливого приміщення на планованому місці установки кабіни, дБА;

$L_{\text{доп}}$  – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях в кабінах, дБА.

Тоді,

$$R_{\text{каб.н.}} = 95 - 80 = 15 \text{ дБА.}$$

Необхідна звукоізолююча здатність конструкцій, що захищають, вікон і дверей звукоізолюючих кабін, дБА:

$$R_{\text{н.и.}} = L_{\text{серед}} - 10 \lg B_i + 10 \lg S_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n, \quad (4.3)$$

де  $L_{\text{серед}}$  – середній октавний рівень звукового тиску в галасливому приміщенні, дБА;

$n$  – загальна кількість окремих елементів даних огорож;

$L_{\text{доп}}$  – нормативне значення октавного рівня звукового тиску в розрахунковій точці ізолюваного приміщення, дБА;

$S_i$  – площа даної огорожі або її елементу, через які шум проникає в ізолюване приміщення, м<sup>2</sup>;

$V_i$  – постійна ізолюваного приміщення в даній октавній смузі частот,  $m^2$ .

Постійну приміщення  $V_i$  визначають множенням постійною приміщення на середньометричній частоті 1000 Гц ( $V_{1000}$ ) на частотний множник  $\alpha$  ( $V = V_{1000} \cdot \alpha$ ).

Об'єм кабіни дорівнює:

$$V = 5 \cdot 3,08 \cdot 3 = 46,2 \text{ м}^3.$$

Тоді постійна приміщення  $V_{1000}$  визначається по графіку 3.5 [44],  $V_{1000} = 5 \text{ м}^2$  і  $\alpha = 1$ .

Необхідна звукоізолююча здатність вікон кабіни:

$$S_{\text{вікон}} = 1 \times 1,035 = 1,035 \text{ м}^2;$$

кількість вікон  $n=3$ .

$$R_{\text{вікон}} = 95 - 10 \lg(5) + 10 \lg(1,035) - 80 + 10 \lg(3) = 13 \text{ дБА}.$$

$$S_{\text{дверей}} = 2,105 \text{ м} \times 1,0 \text{ м} = 2,105 \text{ м}^2;$$

кількість дверей  $n=1$ .

$$R_{\text{дверей}} = 95 - 10 \lg(5) + 10 \lg(2.105) - 80 = 11 \text{ дБА.}$$

Звукоізолююча здатність кабіни визначимо по формулі:

$$R_{\text{н.і.}(кабіни)} = R_{\text{ср}} - 10 \lg B_i + 10 \lg \Sigma S_i, \quad (4.4)$$

де  $S_i$  – площа кожного елементу огорожі, м<sup>2</sup>;

$R_{\text{ср}}$  – середня звукоізоляція всіх огорож кабіни [44]:

$$R_{\text{ср}} = 10 \lg \frac{S_{\text{заг}}}{\Sigma(S_i \cdot 10^{-0.1R_i})}, \quad (4.5)$$

де  $S_{\text{заг}}$  – загальна площа окремих елементів звукоізолюючої конструкції, м<sup>2</sup>.

$$R_{\text{ср}} = 10 \lg \frac{1,035 \cdot 3 + 2,105}{1,035 \cdot 10^{-0,113} + 2,105 \cdot 10^{-0,111}} = 18 \text{ дБА.}$$

Тоді, необхідна звукоізолююча здатність кабіни:

$$R_{\text{н.і.}(кабіни)} = 18 - 10 \lg(5) + 10 \lg(1,035 \cdot 3 + 2,105) = 19 \text{ дБА.}$$

Оскільки  $R_{н.і.(кабіни)} > R_{каб.н}$ , тобто  $19 \text{ дБА} > 15 \text{ дБА}$ , означає що запропонована звукоізолююча кабіна забезпечить захист від підвищеного рівня шуму на пульті управління станом «1680».

Звукоізолююча кабіна має наступну конструкцію: кабіни із збірних елементів кріпляться до нерозбірного або збірно-розбірного каркаса з металевих профілів. Каркас складається з підстави і стін. Підстава зварена з швелерів і куточків, на яких кріпляться дошки. До підстави прикріплюються стінки кабіни, на яких встановлюється стеля.

## ВИСНОВОК

Запропоновані заходи щодо зменшення поперечної різнотовщинності при виготовленні широких штаб дозволять підвищити якість готової продукції. Це дасть змогу вітчизняним підприємствам гідно конкурувати як на зовнішніх так і на внутрішніх ринках металопродукції.

В даний момент поперечна різнотовщинність на ШСГП 1680 складає  $\delta_{\text{нп}} = 0,08-0,10$  мм, для отримання раціональної поперечної різнотовщинності штаб в межах  $\delta_{\text{нп}} = 0,03 - 0,05$  мм кліті чистових груп ШСГП необхідно обладнати системами з декількома каналами регулювання міжвалкового зазору:

- багатосекційними колекторами подачі охолодження на робочі валки (5-10 секцій);
- гідроізгибом робочих (опорних) валків (протиовізгиб і додатковий вигин);
- системами осьового зсуву робочих валків клітей кварто з використанням профілювання робочих валків типу CVC;
- системами відносного схрещування верхньої та нижньої пар валків кліті кварто.

## СПИСОК ВИКОИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Николаев В. А. Горячая прокатка листов и полос. Ч.1. Издание четвертое, переработанное, дополненное: учебное пособие / Запорож. гос. инж. акад. – Запорожье:ЗГИА, 2014. – 176с.
2. Путноки А.Ю., Симененко О.В., Мацко С.В. и др. «Освоение технологии горячей прокатки полос на стане 1680 с промежуточным перемоточным устройством «Койлбокс»» // Сталь, 2008. №10. С. 39-44.
3. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. – М.: Металлургия, 1967. – 388с.
4. Боровик Л.И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки. – М.: Металлургия, 1968. – 233с.
5. Ткалич К.Н., Коновалов Ю.В. Точная прокатка тонких полос. – М.: Металлургия, 1972. – 176с.
6. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных валков. – М.: Металлургия, 1972. – 512с.
7. Профилирование валков листовых станов / А.А.Будаква, Ю.В.Коновалов, К.Н.Ткалич и др. – К.: Техніка, 1986. – 190с.
8. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков.-К.: Техніка, 1992.-158с.
9. Прикладная механика и расчет прокатных валков / П.И.Полухин, В.П.Полухин, Н.Ф.Андрианов, В.Г.Усачев. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 202с.
10. Николаев В.А., Васильев А.Г., Тилик В.Т. Определение рациональных профилировок рабочих валков чистовой группы ШСГП // Изв. вузов. Черная металлургия, 1997, №3. – С.25-28.
11. Николаев В.А. Расчет усилия при горячей прокатке // Изв. вузов. Черная металлургия, 2005, №11. – С.24-29.
12. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки / Г.Г.Григорян, Ю.Д.Железнов, В.А.Черный и др. – М.: Металлургия, 1975. – 359с.

13. Повышение точности листовой прокатки / Ю.В.Коновалов, Д.П.Галкин, В.Г.Додока и др. – М.: Metallurgy, 1978. – 296с.
14. Николаев В.А. Способ прокатки с регулируемым поперечным смещением полосы // Изв. вузов. Черная металлургия, 1992, №11. – С.25-27.
15. Ганжин В.Г., Киселев Ю.Н. Технология XXI века. Перспективы России // Национальная металлургия. – 2003, №12. – С.50-66.
16. Мартини Ф. Свойства рабочих валков из быстрорежущей стали для станов горячей прокатки // Сталь, 1999, №10. – С.50-54.
17. Современные высокопроизводительные прокатные валки, особенности и перспективы их эксплуатации / М.Синнаве, К.Гостев, В.В.Глухов, В.С.Смирнов // Сталь, 2001, №8. – С.2-7.
18. Некоторые аспекты эксплуатации валков на стане горячей прокатки // В.Н.Скороходов, П.П.Чернов, В.А.Третьяков и др. // Сталь, 2001, №8. – С.8-13.
19. Разработка и внедрение режимов поверхностного пластического деформационного упрочнения прокатных валков // В.А.Николаев, А.Ф.Пименов, В.Н.Скороходов и др. // Производство проката, 1999, №10. – С.16-19.
20. Опыт применения опорных валков со спиральными канавками на стане 1400 холодной прокатки / В.Н.Скороходов, В.П.Настич, П.П.Чернов и др. // Производство проката, 1999, №10. – С.50-54.
21. Оптимизация плановых величин съема поверхностного слоя опорных валков тонколистовых станов / В.П.Настич, Э.В.Шляпин, Л.И.Боровик, В.В.Ветер // Производство проката, 1999, №5. – С.39-42.
22. Моделирование напряженного состояния опорных валков станов холодной прокатки, подвергнутых поверхностному деформационному упрочнению / Э.А.Гарбер, В.В.Румянцев, А.В.Спиричев и др. // Производство проката, 2000, №5. – С.6-10.



23. Кудрявцев И.В., Петушков Г.Е. Влияние кривизны поверхности на глубину пластической деформации при упрочнении деталей поверхностным наклепом // Вестник машиностроения, 1966, №7. – С.41-47.
24. Николаев В.А., Трофимов В.А., Васильев А.Г. Усовершенствование валковых узлов клетей стана 1680 горячей прокатки // Сталь, 1993, №11. – С. 47 – 50. Николаев В. А. Прокатка широкополосной стали / В. А. Николаев, А. Ю. Путноки. – Киев: Освита Украины, 2009. – 268 с.
25. Николаев В. А. Прокатка широкополосной стали / В. А. Николаев, А. Ю. Путноки. – Киев: Освита Украины, 2009. – 268 с.
26. Николаев В. А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков / В. А. Николаев // Metallurgical and Mining Industry. – 2007. – № 2. – С. 34-37.
27. Повышение точности листов и полос / Ю. В. Коновалов, Е. А. Руденко, П. С. Гринчук [и др.] – Киев: Техніка, 1987. – 144 с.
28. Повышение стойкости шеек опорных валков стана 1680 /В.А. Николаев, А.Ю. Путноки, В.Т. Тилик и др. // Сталь, 2002, №5. – С. 37 – 39.
29. Профилирование валков листовых станов / А. А. Будаква, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич [и др.] – Киев: Техніка, 1986. – 190 с.
30. Чекмарев А. П. О некоторых вопросах теории прокатки / А. П. Чекмарев // Теория прокатки. (Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). – М.: Metallurgy, 1962. – С. 31-56.
31. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П. И. Полухин, В. А. Николаев, В. П. Полухин и др. – М.: Metallurgy, 1974. – 200с.
32. Целиков А. Н. Теория продольной прокатки. / А. Н. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М.: Metallurgy, 1980. – 320 с.
33. Профилирование валков листовых прокатных станов / А. А. Будаква, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич и др. – Киев: Техніка, 1986. – 190 с.