

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра Обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до бакалаврської роботи

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

на тему Розробка режиму прокатки штаби розмірами 0,9x1100 мм зі сталі 08кп на неперервному стані холодної прокатки 1680

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1360-омт-д

Шапарь Валерій Віталійович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Бондаренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Кафедра _____ Обробки металів тиском _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) рівень _____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність _____ 136 Металургія _____
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____ ОМТ
_____ Ю.О. Белоконь _____

“ _____ ” _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Шапарь Валерія Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка режиму прокатки штаби розмірами 0,9x1100 мм зі сталі 08кп на неперервному стані холодної прокатки 1680

керівник проекту (роботи) Бондаренко Ю.В. к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від “17” 01 2022 року № 90-с
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.06.2022

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Визначення параметрів оптимізації прокатування інструментальної сталі на неперервному стані холодної прокатки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення, презентаційний матеріал 13 слайдах (на 11 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
<i>Загальна частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В.доцент</i>	
<i>Механічна частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В.доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Бондаренко Ю.В.доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 17.02.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.04.2022 - 12.05.2022	
2	<i>Реферат</i>	12.05.2022 - 16.05.2022	
3	<i>Загальна частина</i>	29.04.2022 - 11.06.2022	
4	<i>Технологічна частина</i>	12.05.2022 - 07.06.2022	
4	<i>Механічна частина</i>	17.05.2022 - 30.05.2022	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	24.05.2022 - 15.06.2022	
6	<i>Висновки</i>	30.05.2022 - 17.06.2022	

Студент _____ В.В. Минаєв
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Ю.В. Бондаренко
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи бакалавра: *137 с., 17 рис., 7 табл., , 27 літературних джерел.*

Об'єкт дослідження – неперервний стан холодного прокатування 1680.

Мета роботи – розробка режиму прокатування штаби розмірами 0,9-1100мм на неперервному стані холодного прокатування 1680.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків в прокатному виробництві.

Отримані результати і їх новизна – модернізація технології здійснена за рахунок оптимізації режимів обтискань, заміною електродвигунів, що дозволило значно поліпшити якість холоднокатаного листа, мінімізувати витрати по переділу, збільшити продуктивність стану.

Вимоги споживачів прокатної продукції до її якості, що постійно підвищуються, вимагають глибокого вивчення впливу структури й властивостей гарячекатаного підкату, умов холодної прокатки, термообробки й дресирування на кінцеву структуру, якість поверхні й точність геометричних розмірів штаб. Істотним резервом підвищення якості прокатки сталі є усунення повздовжньої різнотовщинності штаб при холодній прокатці.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ, СТАН, КЛІТЬ, РЕЖИМ ОБТИСКАНЬ, СТІЙКІСТЬ ШТАБИ, ВАЛКИ, ШВИДКІСТЬ, МАСТИЛО, СЕКУНДНИЙ ОБ'ЄМ, КУТ ЗАХОПЛЕННЯ, ПІДПІР, ОПТИМІЗАЦІЯ, НАТЯГНЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ОБМЕЖЕННЯ, РУЛОН, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ, ВИПЕРЕДЖЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Технологічний процес прокатки штаб в умовах ЦХП-1.....	7
1.2 Опис конструкцій і роботи основного устаткування ЦХП-1.....	10
1.3 Аналіз параметрів режиму деформації на стані НСХП 1680.....	17
1.4 Заходи щодо реконструкції	21
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	25
2.1 Розрахунок діючого режиму деформації на стані НСХП 1680.....	25
2.2 Проектний розрахунок режиму деформації.....	55
2.3 Аналіз повздовжньої різнотовщинності штаб	89
3 МЕХАНАНІЧНА ЧАСТИНА.....	95
3.1 Розрахунок на міцність станини робочої кліті.....	95
3.2 Розрахунок тихохідного натискного механізму.....	103
3.3 Розрахунок робочих і опорних валків.....	109
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	116
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	116
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії.....	119
4.3 Електробезпека	123
4.4 Заходи щодо техніки безпеки.....	124
4.5 Пожежна та техногенна безпеки.....	125
4.6 Розрахунок штучного освітлення ділянки безперервного стана холодної прокатки 1680.....	127
ВИСНОВОК.....	131
ЛІТЕРАТУРА.....	132

ВСТУП

За останні роки яскраво виявилася тенденція до збільшення частки холоднокатаного листа в загальному об'ємі листового прокату. Виробництво холоднокатаного листа в провідних країнах склало 70-75 % загального об'єму листового прокату.

Холоднокатаний лист одержують на безперервних 4-х, 5-х і 6-и клітьових і на реверсивних станах. Основний напрямок розвитку листових станів - створення багатоклітьових безперервних станів холодної прокатки високої продуктивності зі швидкостями прокатки 30-35 м/с, які працюють на рулонах масою до 45-60 т, і забезпечують високу точність параметрів та якість готової продукції.

Спостерігається подальше збільшення маси рулонів, довжини бочок валків, числа робочих клітей і швидкостей прокатки. Підвищення точності параметрів готової продукції й поліпшення її якості досягають збільшенням твердості прокатних клітей, застосуванням полірованих валків, впровадження систем противоізгиба валків, максимальною автоматизацією станів з подальшим переходом на програмне керування.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика цеху

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

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

У цеху холодної прокатки № 1 на неперервному чотирьохкільтовому стані 1680, двох однокільтових реверсивних станах 1680 і 1200, двадцятивалковому стані 1700 і двох неперервних вузькоштабових чотирьохкільтових станах 450 і 650 виробляється холоднокатаний лист, штаби і стрічки з вуглецевої, низьколегованої, легованої і нержавіючої сталі.

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

Цех складається з наступних відділень: травильне, прокатне, термічне, дресировальне, відділення нержавіючих сталей і жерсті. Схема цеху представлена на рис. 1.1.

Травильне відділення призначене для зняття окалини.

Прокатне відділення призначене для прокатки металу на задану товщину. До складу прокатного відділення входять неперервний чотирьохкільтовий стан 1680, а також реверсивні стани 1680 і 1200, і ділянка підготовки валків.

Неперервний чотирьохкільтовий стан 1680 складається з 4-х послідовно розташованих клітей кварто, що мають у своєму складі два опорних і два

подачі природного і захисного газів, повітря, електроенергії, води. Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для створення конвекції захисного газу під муфелем. Також печі обладнані контрольно-вимірювальною апаратурою, що забезпечує задані режими відпалу. У лютому 2006 року введені в експлуатацію 18 нових термічних печей фірми «Ебнер», у яких виробляється відпал листового прокату для додання йому більш високих якісних характеристик. Нові печі дозволять приступити до випуску автолиста. У цих печах відпал прокату здійснюється в середовищі сухого водню, що забезпечує такі механічні властивості, як висока чистота поверхні, пластичність і висока корозійна стійкість. У цілому за рік у нових печах фірми "Ебнер" буде відпалюватися до 300 тисяч тонн прокату.

Дресирувальне відділення складається з двох дресирувальних станів 1700-1 і 1700-2, трьох агрегатів поперечного різання АПР-1, АПР-2, АПР-3 і одного агрегату подовжнього різання АПР-4, стану «кварто» і двох конвеєрів для упакування пачок металу. Дресировання забезпечує поверхневий наклеп, зменшується коробчатості і хвилястості.

Відділення жерсті складається з таких ділянок: термічного, прокатного, що складає з двох неперервних чотирьохкільтєвих станів 450 і 650.

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

1.2 Опис існуючого технологічного процесу та обладнання для прокатки штаб на реверсивному стані 1200 в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

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

- листи холоднокатані: 0,5-2,0×850-1500×1400-3800 мм;

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

Для холодної прокатки штаби в ЦХП-1 використовують неперервний чотирьохкільтовий стан 1680, два однокільтові реверсивні стани 1680 і 1200, двадцятивалковий стан 1700 і два неперервних вузькоштабових чотирьохкільтових стана 450 і 650 (рис. 1.2). Продукція ЦХП-1 включає холоднокатаний лист, штаби і стрічки з вуглецевої, низьколегованої, легваної і нержавіючої сталі.

Цех оснащений засобами для дресування, поперечного і подовжнього різання, що забезпечують постачання холоднокатаного прокату товщиною від 0,2 до 2,0мм, шириною від 10 до 1500мм і довжиною листа до 4000мм, а також рулонів масою до 14,0 тонн [1].

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

Гарячекатані рулони масою до 7,5 т зі ЦГПТЛ по підземному конвеєру надходять на склад рулонів і потім на неперервно-травильні агрегати (НТА) для видалення окалини з поверхні металу в розчині сірчаної або соляної кислоти. На НТА роблять укрупнення рулонів шляхом стикового зварювання до маси 15 т, нанесення на поверхню захисного состава і згортання штаби в рулон.

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

- для неперервного стана 1680 – 710-750 мм;
- для реверсивного стана 1200 – 720-740 мм;
- для реверсивного стана 1680 – 720-740мм.

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

Неперервний стан 1680 має чотири кліти з робочими валками діаметром 500 мм і опорними діаметром – 1300 мм. Робочі валки кожної кліти

приводяться в обертання від індивідуальних двигунів з потужністю 3300 кВт. На стані прокатують штаби товщиною 0,5 - 2,0 мм із гарячекатаних штаб товщиною 2,0 - 3,5 мм і шириною 1000 - 1500 мм зі швидкістю в кліті 4 - 10 м/с [2].

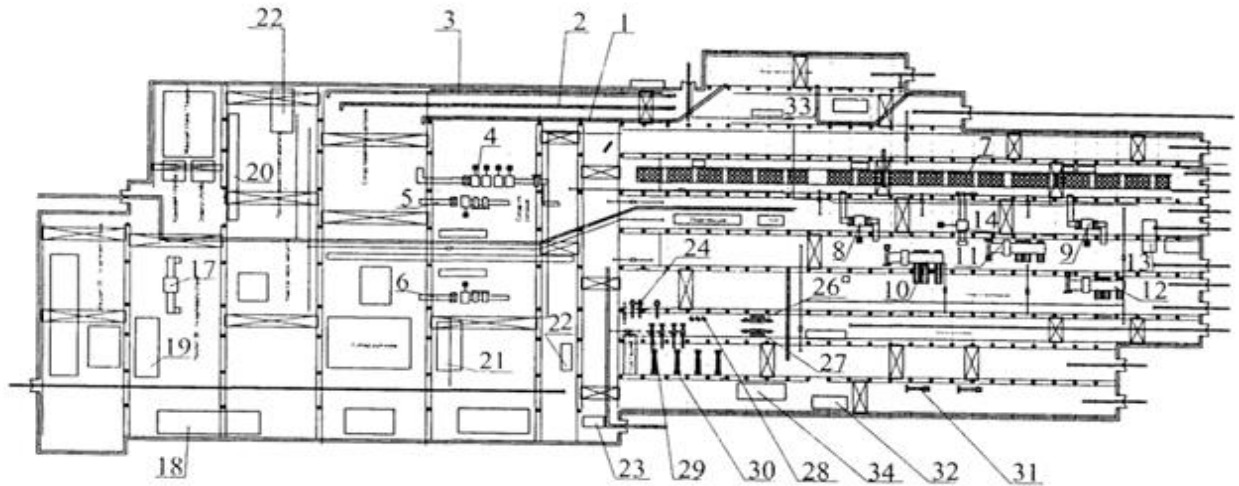


Рисунок 1.2 – Схема розміщення обладнання цеху холодної прокатки №1 з безперервним чотирьохклітьовим станом 1680: 1 - травильних лінія № 1; 2 - травильних лінія №2; 3 - травильних лінія № 3; 4 - безперервний чотирьохклітьовий стан 1680; 5 - реверсивний стан 1680; 6 - реверсивний стан 1200; 7 - ковпакові одностопні печі; 8 - дресирувальний стан 1700 № 1; 9 - дресирувальний стан 1700 № 2; 10 - агрегат поперечного різання №1; 11 - агрегат поперечного різання № 2; 12 - агрегат поперечного різання №3; 13 - агрегат поперечного різання № 4; 14 - кліть кварто; 17 - 20 - валковий стан; 18 - механічна майстерня; 19 - В / ш. майстерня 20-ти валкового стана; 20 - агрегат шліфування штаби; 21 - В / Ш. ділянку; 22 - агрегат порізу; 23 - комора; 24 - агрегат мийки; 26 - 4-х клітьовою стан 450 ОБЖ; 27 - 4-х клітьовою стан 650 ОБЖ; 28 - агрегат розпуску ОБЖ; 29 - стан дуо №1,2,3,4 ОБЖ; 30 - агрегати гарячого лудіння ОБЖ; 31 - агрегат поздовжнього різання; 32 - майстерня енергетиків; 33 - підземний конвеєр; 34 - склад запчастин механослужби.

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

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

У результаті сумарної деформації штаби з обтиском 60 – 80% метал зміцнюється і практично втрачає свої пластичні властивості [2]. Тому рулони холоднокатаних штаб передають у термічне відділення, де роблять рекристалізаційний відпал у ковпакових печах. Відпал виконують у захисній атмосфері, що запобігає окислюванню поверхні штаб. Тривалість і температурний режим відпалу обумовлені товщиною і хімічним складом матеріалу штаб. Після відпалу при температурах $t = 670-710$ °C границя текучості сталі марок 08кп (08пс) знижується з $\sigma_T = 700-750$ Н/мм² до $\sigma_T = 220-240$ Н/мм², а відносне подовження збільшується з $\delta = 1,5\%$ до 35-40%.

Наступною операцією у виробництві холоднокатаних штаб є дресирування – процес прокатки з обтиском 0,8 - 1,5% [2]. Дресирування роблять на одноклітьових чотирьохвалкових станах 1700-1 і 1700-2 зі швидкість до 20 м/с, з робочими валками, діаметром 500/470 і опорними з діаметром – 1300/1220. Призначення дресирування металу – зміцнення поверхневого шару штаби і додання їй поверхні певної шорсткості або мікрорельєфу, що забезпечують гарне адгезію покриття (фарби) [2].

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

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

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

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

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

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

На стані 1200 встановлена чотирьохвалкова кліть із діаметром робочих валків 430мм і опорних з діаметром 1300мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3200 кВт через шестеренну кліть і обертаються з

максимальною кутовою швидкістю 10 м/с. У процесі прокатки робоча швидкість валків не перевищує 9,8 м/с.

На стані прокатують низьковуглецеву сталь 08кп(пс) з розмірами 0,6×1030 мм (підкат для жерсті) і 0,5×1020 мм (автолист). Підкат для жерсті, що відправляється безпосередньо на обробку на ділянку жерсті, прокатують у шліфованих валках, а автолистову сталь, що йде в рулонах на рекристалізаційний відпал, прокатують в умовах несиметричної деформації. З метою зниження енергосилових параметрів застосовують один з валків (верхній) з висотою шорсткості R_a – 4-6мкм, а другий валок – шліфований з $R_a = 1-1,2$ мкм. Зниження сумарної шорсткості поверхні валків (у порівнянні із прокаткою у двох насічених валків) забезпечило зниження навантаження головного привода на 10...15%. Однак застосування валків з різною шорсткістю приводить до нерівномірного розподілу крутних моментів між верхнім і нижнім шпинделями (більший момент відповідає верхньому насіченому валку). З метою вирівнювання нижнього шліфованого валка роблять більшим, ніж насіченого і при цьому максимальна припустима різниця діаметрів становить 10 мм. Використання робочих валків різних діаметрів істотно полегшує їхню комплектацію при перевалках і знижує їхньої витрати. Гарячекатані травлені рулони подають на прийомний стіл і затискають конусами розмотувача 4. Тягнучі ролики 5 транспортують передній кінець штаби до кліті 6 з розведеними валками і заправляють у моталку 9. У першому проході штабу перемотують на моталку 9 без обтиску, а деякий натяг заднього кінця штаби утворюється роликовою прес-проводкою, що встановлена перед кліттю 6. Після цього стан реверсують і задній кінець заправляють у моталку 7, забезпечивши на моталці 1,5-2 витка штаби. Така кількість витків досить для того, щоб барабан моталки не прокручувався в рулоні. Потім прокатка штаби здійснюється по режимах, які представлені в таблиці 1.1., і які відрізняються інтенсивною деформацією металу у валках. При таких деформаціях потужність установленого головного привода (двигуна) використовується повністю. Товщина штаби в кожному проході

контролюється ізотопним товщиноміром. На цьому стані ділянка шва рулону прокатується на вповільненій швидкості (1,5- 2м/с), а наприкінці проходу стан зупиняють без видачі кінця штаби з моталки і роблять реверсивну прокатку. Після закінчення прокатки рулону валки піднімають і змотують необтиснений кінець штаби на моталку 9. Готовий рулон обв'язують смужкою, маркірують і електромостовим краном передають на склад [2,5,14].

Реверсивний стан 1200 (рис. 1.3) складається із чотирьохвалкової кліти і обслуговуючого її устаткування: ланцюгового транспортера, що підводить, прийомного столу, піднімального столу, розмотувача, що правильно-тягне машини з відгиначем кінця штаби 2, плоскої прес-проводки, двох моталок барабанного типу 3, 8, знімача рулонів з піднімальним столом і прийомним стелажем з перекидачем [4].

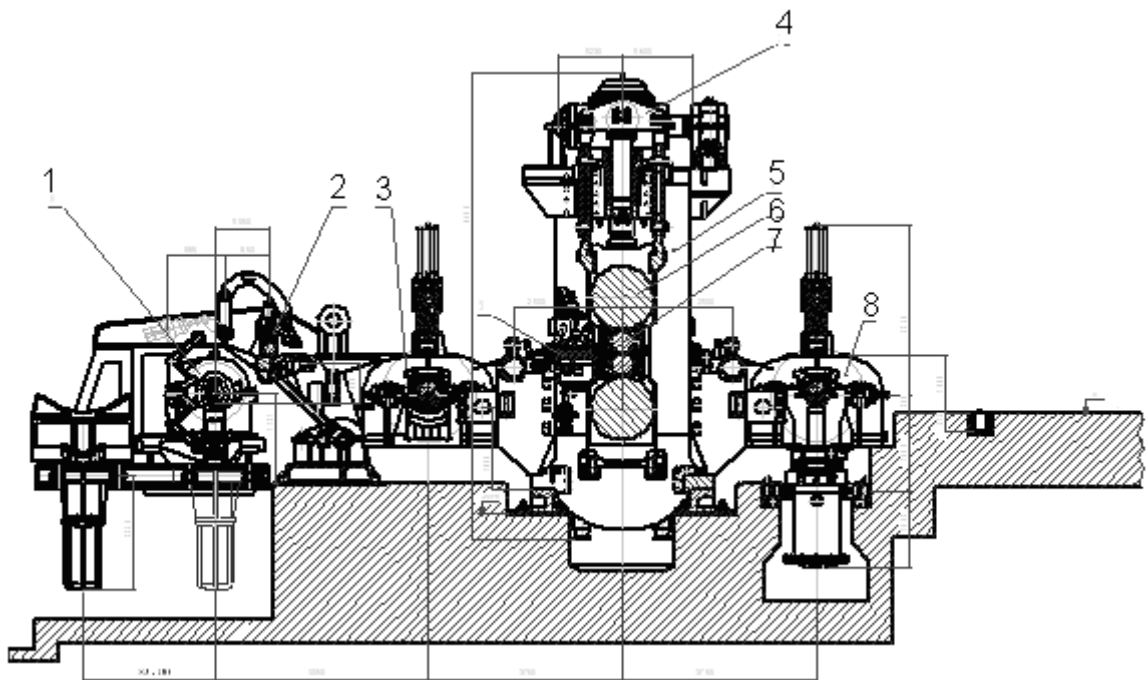


Рисунок 1.3 – Реверсивний стан 1200: 1 – розмотувач; 2 – відгинач; 3 – ліва моталка; 4 – натискний механізм; 5 – прокатна кліть; 6, 7 – робочі та опорні валки; 8 – права моталка

Ланцюговий транспортер призначений для нагромадження і подачі рулонів до прийомного стола. Швидкість переміщення транспортера -

0,15м/с; ємність транспортера – до п'яти рулонів. Привод – від електродвигуна потужністю 16 кВт.

Приймний стіл призначений для прийому рулонів з ланцюгового транспортера і подачі їх у розмотувач. Найбільший хід підйому - 1600мм. Довжина горизонтального переміщення - 2500мм. Робочий тиск рідини - 30кг/см².

Робоча кліть стана (рис. 1.4). Привод робочих валків – від електромотора потужністю 3200 кВт. Номінальний струм двигуна - 4530А, $n=320/520$ об/хв через зубчасту муфту, шестеренну кліть і шпindelне з'єднання.

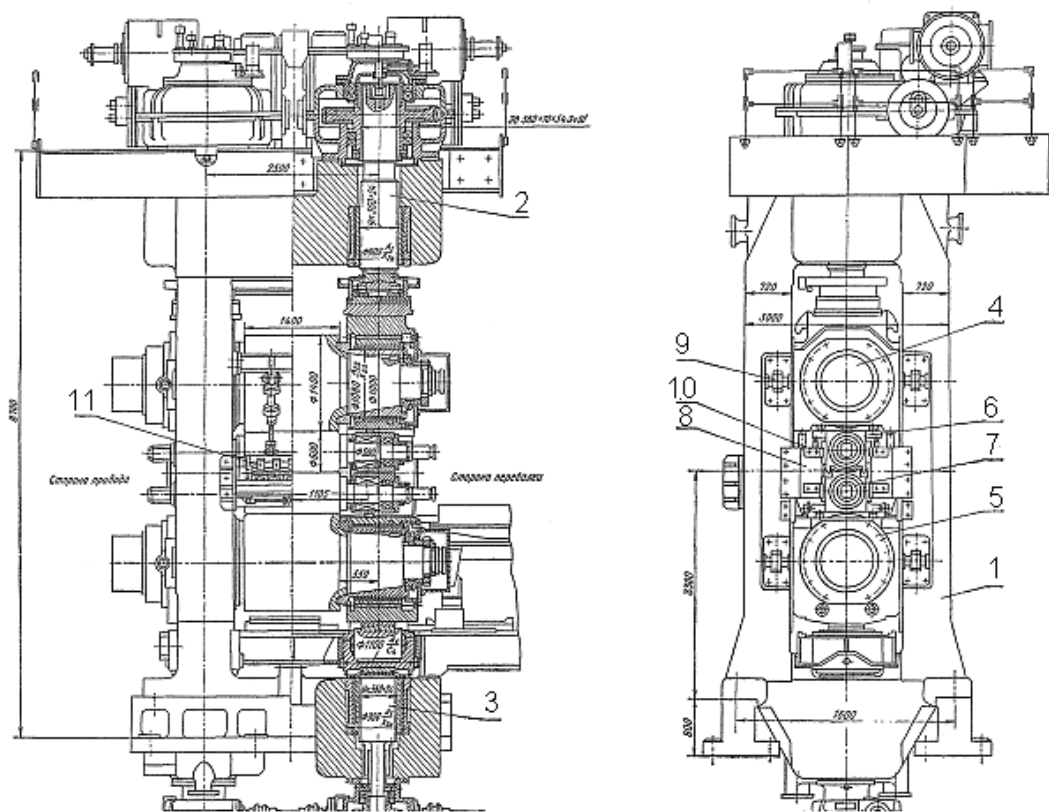


Рисунок 1.4 – Робоча кліть реверсивного стана 1200: 1- станина; 2 – верхній натискний механізм; 3 – нижній механізм для встановлення валків; 4 – верхні подушки опорних валків; 5 – нижні подушки опорних валків; 6 – верхній робочий валок з подушками; 7 – нижній робочий валок з подушками; 8 – вставки-упори у вікнах станини; 9 – гідрофіксатори опорних подушок; 10 – гідрофіксатори робочих подушок; 11- плоский провідковий стіл

Розмотувач призначений для правильної установки рулону в положення, що забезпечує можливість захвату зовнішнього кінця штаби відгибачем, запобігання рулону від розпушивання і створення натягу під час прокатки. Розмотувач складається із двох станин, по напрямних яких за допомогою ходових гвинтів переміщуються лівий і правий полозок. Привод переміщення кожного ползка – індивідуальний від електродвигуна потужність 80 кВт, через одноступінчатий редуктор. На ползках встановлений спеціальні редуктори, на ведених валах яких змонтовані конусні головки розмотувача. Головки розмотувача приводяться в обертання від індивідуальних електродвигунів. Кожна головка розмотувача має два ролики, які служать для запобігання рулонів від розпушивання. Діаметр головки розмотувача - 720 мм; довжина ходу ползка - 600мм; швидкість переміщення ползка - 60мм/с; максимальне сила натягу штаби – 6400 кг; швидкість розмотування при прокатці - 0,5-4 м/с; найбільша маса рулону - 10т [5].

Натискні гвинти (рис. 1.5) приводяться в рух від двох електродвигунів потужністю 40кВт. Кожний електродвигун з'єднаний муфтою із черв'яком редуктора ($i=24,5$), вал черв'ячного колеса якого з'єднаний муфтою із редуктором ($i=32,5$). Електродвигуни натискного пристрою з'єднані електромагнітною муфтою для забезпечення спільною або роздільною муфтою роботи натискних гвинтів. Контроль руху натискних гвинтів здійснюється за допомогою сельсина БД-501, що через циліндричну пару редуктора з'єднаний із черв'яком редуктора ($i=32,5$). Верхнє положення натискного витка обмежується командоапаратом [6].

Швидкість переміщення натискних гвинтів:

при обтиску - 7,29 мм/хв;

при зворотному ході - 14,58 мм/хв.

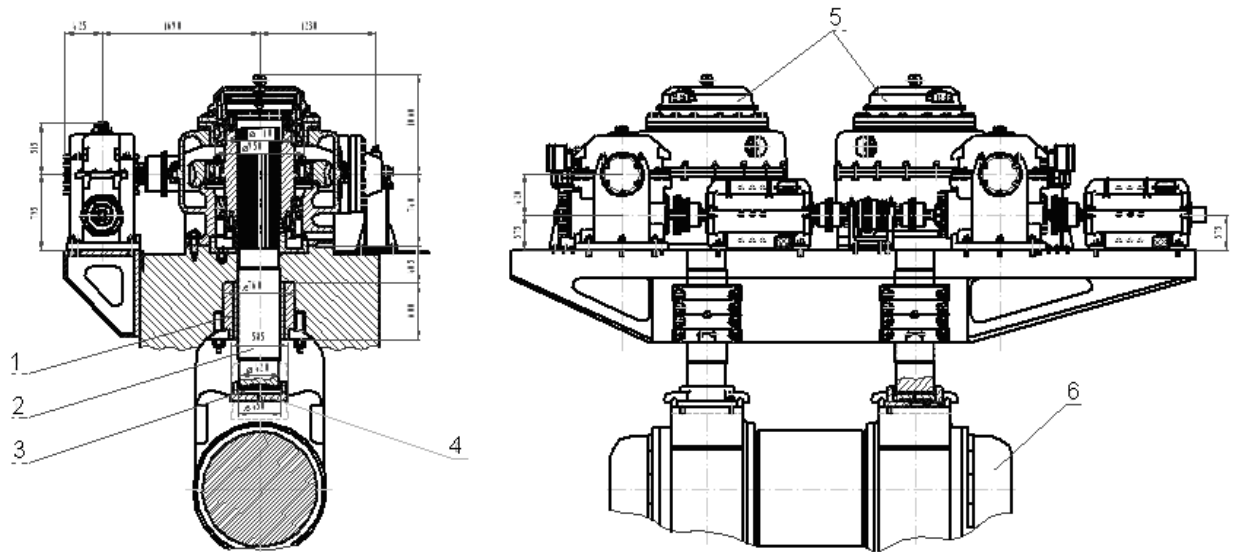


Рисунок 1.5 – Натискний пристрій реверсивного стану 1200: 1 - гайка натискного гвинта; 2 – натискний гвинт; 3 – підп'ятник; 4 – стакан; 5 – редуктор; 6 – опорний валок

Прокатні валки. Загальна характеристика прокатних валків реверсивного стану 1200 представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика прокатних валків

Найменування	Розміри, мм						Маса, кг	
	Бочка		Довжин а	Шійка		Треф		
	Мах	Мін		Діаметр р	Довжин а	Діаметр р		Довжин а
Робочий	430	380	1200	220	480	195	310	1770
Опорний	130	121	1200	Конус 800/658	1040	–	–	2017
	0	5						0

Опорні валки – складові: бандаж з кованої сталі марки 9ХФ із твердістю 70-85 одиниць по Шору. «Серцевина» – з кованої сталі марки 40ХН2МА із твердістю 30-55 одиниць по Шору. Робочі валки – з кованої сталі марок 9Х2, 9Х2МФ, 7Х2СМФ із твердістю бочки 90-105 одиниць по Шору. Врівноважування верхнього опорного валка здійснюється за допомогою механізму врівноважування, що складає з гідравлічного циліндра діаметром 350 мм, розташованого в розточенні верхніх поперечок станин,

двох щік і системи важелів і тяг. Щоки своїми кінцями входять у спеціальні гнізда подушок верхніх опорних валків і за рахунок піднімальної сили гідравлічного циліндру притискають подушки верхнього опорного валка до натискних гвинтів. Завдяки шарнирності з'єднання вся система може з і передавати однаковий тиск на обидва припливи кожної подушки. Під час роботи стана тиск масла в циліндрі дорівнює 100 кг/см, а під час перевалки опорних валків, коли одночасно треба підняти обидва валки, тиск збільшується до 200 кг/см [7].

Плоска прес-проводка, призначена для правильного завдання штаби по осі стана, підтримування переднього кінця штаби перед заправленням у валки й створення натягу при виході заднього кінця штаби з розмотувача. Корпус прес-проводки складається з верхньої і нижньої рам, скріплених між собою болтовим з'єднанням, у яких закріплені дерев'яні вкладиші. У нижній рамі прес-проводки, із зовнішньої сторони, прикріплені роликові напрямні для центрування штаби по осі стана. Величина горизонтального переміщення прес-проводки - 340 мм. Висота підйому – 125 мм. Діаметр пневматичного циліндра механізму підйому - 250 мм. Тиск масла в циліндрі механізму горизонтального переміщення - 30 кг/см².

Моталки барабанного типу установлені з передньої і задньої сторін кліті (рис. 1.6).

Діаметр барабана моталки	- 760 мм.
Довжина бочки барабана	- 1300 мм.
Зменшення діаметра барабана при складанні	- 11 мм.
Натяг штаби	- до 12 т.
Число обертів барабана моталки	- 236/850 об/хв.

Привод - від двох електромоторів потужністю 485 кВт, $n=330/1150$ об/хв, передаточне число редуктора $i = 3,05$.

Кожна моталка обладнана притискними роликами, закріпленими у звареній рамі з вертикальними напрямними, у яких за допомогою пневматичного циліндра переміщається траверса притискних роликів.

Призначення притискних роликів - запобігання рулонів від розпушивання при випуску заднього кінця штаби з валків або при розривах штаби в процесі прокатки.

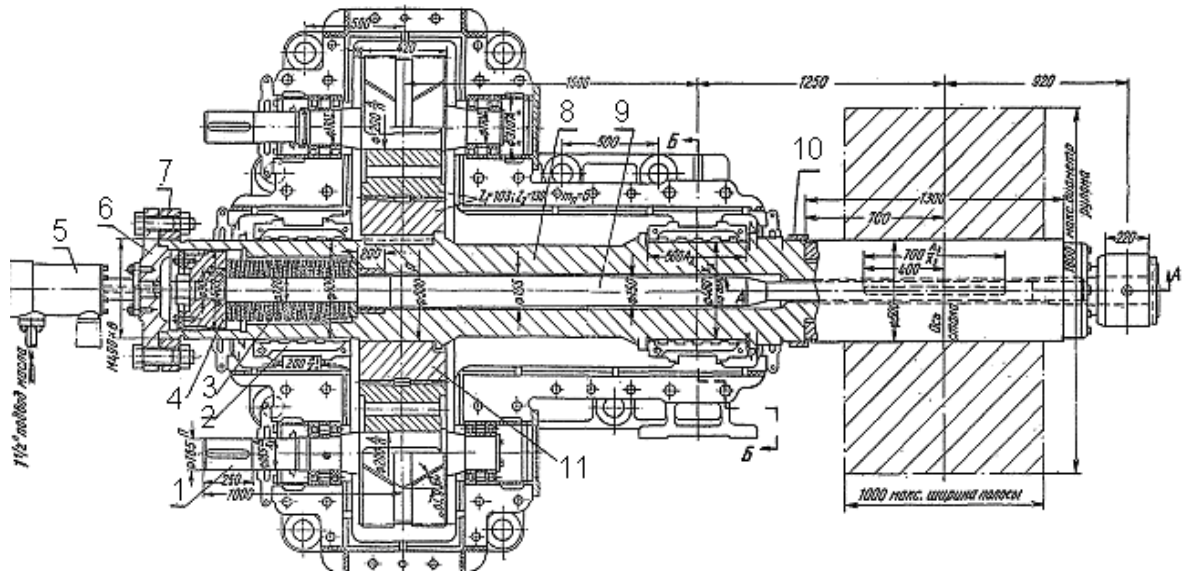


Рисунок 1.6 – Моталка реверсивного стану 1200: 1 – вал з шестернею; 2 – вкладиш-залівка; 3 – пружина; 4 – поршень; 5 – вертлюжок для підводу мастила; 6 – кришка; 7 – фланець; 8 – вал барабану; 9 – шток; 10 – кільце; 11 – зубчате колесо.

Знімач рулонів призначений для зняття рулону з барабана моталки й подачі його на прийомний стелаж. Складається з візка з вилкою піднімального стола, горизонтального гідравлічного циліндра й рухливого настилу.

Прийомний стелаж з перекидачем призначений для прийняття прокачаного рулону зі стола знімача. Складається з наступних вузлів: перекидача із прийомним столом, плит і упору. Довжина прийомного стелажа - 19500 мм. Кількість рулонів, що одночасно перебувають на стелажі до 10 шт. Перекидач приводиться в дію від гідравлічного циліндра [8].

Реверсивний стан 1200 обладнаний радіоізотопним вимірником товщини РТ7015 установленим за робочою кліткою [2, 3, 17].

1.3 Опис технології прокатки на реверсивному стані 1200

1.2.1 Сортамент металу реверсивного стана 1200

Підкатом для стана служать гарячекатані травлені із промасленою бавовняною емульсією поверхнею штаби в рулонах, по якості відповідним вимогам СТП 226-23-84.

Внутрішній діаметр рулону	- 720-740 мм.
Зовнішній діаметр рулону	- 1150-1600 мм.
Максимальна маса рулону	- 12 т.
Максимальний зовнішній діаметр холоднокатаного рулону	- 1600 мм.
Внутрішній діаметр холоднокатаного рулону	- 760 мм.

Марки сталі, розміри підкату і готових штаб наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Сортамент реверсивного стана 1200

Марка сталі	Товщина похила для х/к штаб шириною, мм		Розміри х/к штаб, мм		Примітка
	710	850- 1030	товщина	ширина	
08кп	-	2,0	0,5	1000 -	
08пс	-	2,0	0,5	- 1050	Підкат
08кп	-	2,3	0,6; 0,7	850 -	для
08пс	-	2,0	0,5; 0,6	- 1030	жести
10кп	-	2,3	0,6; 0,7		
10пс	-	2,3	0,6; 0,7	850 -	
15кп	-	2,3	0,6; 0,7	- 1030	
15пс	-	2,5	0,8; 0,9	850- 1030	
Ст. 1кп	-	2,7	1,0-1,2	850- 1030	
Ст. 1пс	-	3,0	1,5	850- 1030	
10, 15, 20	-	2,0	0,5-0,65	850- 1030	штрипси шириною 710 мм

	-	2,5	0,8-1,2	850-1030	
	3,0	-	1,0-1,2	710	
	3,0	3,0	1,5	710-1030	
	-	3,5	2,0	850-1030	
Ст. 3пс	-	2,7	1,2	1000	упакована стрічка

При виробничій необхідності на реверсивному стані 1200 можуть катати метал сортаменту неперервного стана 1680, які наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Сортамент металу безперервного стана 1680, що прокатується на реверсивному стані 1200 при виробничій необхідності

Марка сталі	Товщина, мм	
	гарячекатаного підкату	холоднокатані штаби
08кп, 80пс, 10кп	2,5	0,7
10пс, 08Ю, Ст. 1кп	2,7	0,8 – 0,9
Ст. 1пс	3,0	1,0 – 1,3
	3,5	1,4 – 1,6
	3,8	1,7 – 2,0
15кп, 15пс	2,7	0,8 – 1,0
Ст. 2пс, Ст. 2кп	3,0	1,2 – 1,3
Ст. 3кп, Ст. 3пс	3,5	1,4 – 1,6
10, 15, 20кп, 20пс	2,3	0,8

1.2.2 Технологія прокатки

Рулони за допомогою скоби по одному подаються електромостовим краном на похилий холостий рольганг перед станом. Рулони встановлюються таким чином, щоб зовнішній виток був притиснутий тілом рулону рольгангу.

Категорично забороняється проштовхувати рулони по конвеєрі ударами кранової чи скоби рулоном, що знаходиться на скобі, щоб уникнути ушкодження крайок і поверхні рулонів.

При подачі в прокатку рулонів довго зберігалися на складі, пил, що нагромадився на верхньому витку цих рулонів, видаляють щіткою чи віником.

По похилому прийомному рольгангу рулони подаються на поворотний стіл, що повертається на 90° , нахиляється і переміщає рулон на перекидач.

При задачі рулонів, ув'язаних пакувальною стрічкою, розпакування виробляється на прийомному рольгангу при піднятому упорі, за допомогою спеціального пристрою для перерізання стрічки.

Нахилом перекидача (від пневматичного циліндра) рулон скачується на опорні ролики колиски розмотувача і їхнім обертанням повертається в положення, зручне для захоплення відгибачем кінця зовнішнього витка рулону, після чого затискається бічними напрямними. Потім кінець зовнішнього витка рулону піднімається відгибачем у крайнє верхнє положення для заправлення в тягнучі ролики [9].

Настроювання стану повинне забезпечити: одержання штаби необхідної за замовленням товщини, рівномірної в поперечному перерізі і по її довжині; оптимальний натяг; дотримання режимів обтиску (таблиця 1.4), передбачених інструкцією. Після перевалки опорних чи робочих валків після довгострокової зупинки стану, коли валки були розведені на значну величину, вальцювальник стану включає натискний пристрій і, щоб уникнути утворення перекосу валків, стежить за показаннями продуктиметрів, щоб опускання обох подушок верхнього опорного валка було строго однаковим.

Таблиця 1.4 – Режим обтисків х/к штаб на реверсивному стані 1200

Вихідна і кінцева товщина штаби	ξ	Товщина штаби, мм		Обтиск за пропуск		Сумарний обтиск		Максимальне число оборотів робочого валка об/хв
		до	після	Δh , мм	ε , %	Δh , мм	ε , %	
	1	перемотування						320

2,0 – 0,5	2	2,0	1,30	0,70	35,0	1,5	75,0	350
	3	1,3	0,85	0,45	34,5			460
	4	0,85	0,6	0,25	20,4			350
	5	0,6	0,5	0,10	16,7			400
2,3 – 0,6	1	перемотування						320
	2	2,30	1,50	0,8	34,8	1,7	73,9	350
	3	1,50	1,00	0,5	33,3			460
	4	1,00	0,72	0,28	28,0			350
	5	0,72	0,6	0,12	16,6			460
2,5 – 0,8	1	перемотування						320
	2	2,50	1,70	0,80	32,0	1,7	68,0	350
	3	1,70	1,25	0,45	26,7			460
	4	1,25	0,95	0,30	24,0			480
	5	0,95	0,78	0,17	17,9			500

У випадку відставання однієї з подушок, необхідно виключити натискний пристрій, з'ясувати й усунути причину утворення перекосу, після чого продовжити опускання опорного валка.

Коли навантаження на двигун натискного пристрою досягнуть 20-40 А, поштовхом провертаються валки і перевіряється обертання опорних валків. Якщо один з робочих валків не обертається, то знову включається натискний пристрій і валки додатково притискаються (приблизно до 50 А) до повного їхнього зіткнення.

Як тільки валки почнуть обертатися, проводиться запуск стану; при цьому валки, обертаючи, рясно поливаються емульсією по всій довжині бочки.

При наявності зазору між робочими валками емульсія буде просочуватися на передню сторону по всій довжині бочки валка. При зіткненні валків емульсія, завдяки опуклості, буде віджиматися від середини до країв бочки валка.

Валки вважаються встановленими без перекосу, якщо відстані по їхніх краях у місцях проходження емульсії рівні.

Контроль за правильною установкою валків у кліті в процесі прокатки здійснюється по напрямку переднього обтиснутого кінця штаби на виході

його з кліті. Напрямок переднього кінця штаби після виходу його з кліті строго по осі прокатки свідчить про відсутність перекосу валків.

Зсув штаби усувається регулюванням натискних гвинтів; при зсуві штаби вправо від осі прокатки необхідно підняти правий чи опустити лівий гвинт.

Разом із захопленим кінцем зовнішнього витка рулону відгибач піднімається до верхнього положення. Одночасно з цим під низ штаби підводяться два холостих ролики, і притискає штабу до приводного тягнучого ролика. Кінець штаби подається на стаціонарний стіл, заправляється в роликову прес-проводку і за допомогою тягнучих роликів, задається у валки стану, після чого колиска розмотувача опускається в крайнє нижнє положення [10].

При задачі штаби в стан і перемотуванню, або прокатці з обтиском у першому проході, бічні розсувні проводки (за розмотувачем і перед кліттю) повинні бути зведені на ширину штаби.

Багато дефектів поверхні холоднокатаних штаб переходять з поверхні гарячекатаних штаб (плівки, залишки окалини, надриви і т.п.).

Однак у процесі холодної прокатки з'являються нові дефекти:

- "коробоватість" виникає внаслідок надмірно великої опуклості валків за їхнього перегріву, а також недостатнього обтиску в останньому пропуску;

- "хвилястість крайки" - велике вироблення валків, надмірно великий обтиск в останньому пропуску, неправильна установка (перекіс валків), нерівномірний обтиск по ширині штаби;

- "серповидність" - прокатка штаб з чи складкою загнутою крайкою, надмірно великий обтиск при прокатці, недостатній задній натяг штаби при прокатці, неправильне настроювання стану;

- "заворот крайки" - загин крайок бічними роликовими проводками, при знятті з моталки нерівномірно - змотаного рулону;

- "різновтовщинність" - неправильне настроювання стану, неправильний режим прокатки (обтиски, швидкості прокатки, змащення, і неправильний тепловий режим валків), різновтовщинність гарячекатаної штаби;

- "тонкі листи" - недотримання режимів обтиску, неправильне настроювання стану, неточна установка натискних гвинтів при переході з робочої швидкості на заправну;

- "відбитки" - навари і порізи на робочих валках, улучення металевих часток у прокатні чи валки викрашування останніх;

- "подряпини" - від наварів, що виступають гострих крайок, задиров на проводках, роликах і інших деталях устаткування, при терті витка об виток у нещільно і нерівно змотаному рулоні;

- "плями забруднень" - найчастіше це плями сажі, емульсії та масла;

- "ризки" - прослизання витків на моталках у момент реверсування при великій різниці натягів у попередньому і наступному пропусках;

- "злами" - злипання-зварювання витків штаби в рулоні при отжиге через високі температури і контактні напруга стиску, малої шорсткості поверхні холоднокатаної штаби;

- "вкатанні металеві частки, раковина-вдав" - удавлення поверхня штаби сторонніх предметів.

Передній кінець штаби пропускається через підняту прес-проводку і задається в розведені валки. Після виходу переднього кінця штаби з валків на 100-150 мм валки встановлюються за допомогою натискних гвинтів на необхідний обтиск, верхній стіл прес-проводки опускається, і штаба на заправній швидкості подається до моталки.

Передній кінець штаби заводиться в зьов барабана моталки, установлюється необхідний передній натяг і починається прокатка штаби на заправній швидкості. У цей час оператор головного посту керування заводить на штабу ізотопний товщиномір, і за показниками товщиноміру налаштовує стан на необхідну товщину. Потім переводить стан на робочу швидкість і під

час всього пропуску стежить за товщиною штаби, вносячи відповідну коректування в розчин валків [11].

Прокатка ведеться на номінальну товщину з відхиленнями, що допускаються, по товщині - за ДСТ 19904-90.

Перед виходом заднього кінця рулону з розмотувача стан переводиться на заправну швидкість, на якій працює до моменту, поки задній кінець штаби ввійде в роликову прес-проводку. Стан перед його реверсуваням зупиняється з таким розрахунком, щоб задній кінець штаби не дійшов на 1,0-1,2 м до осі робочих валків. Наприкінці пропуску, перед реверсуваням, не допускати влучення необтисненого кінця штаби у валки, для чого в кожному пропуску робити додатковий запас штаби довжиною 100-150 мм.

У момент зупинки стану (перед реверсуваням) бічні проводки обов'язково розводяться, щоб мати можливість приймати штабу на праву моталку при другому (зворотному) пропуску штаби через валки; роликова прес-проводка піднімається. Усі механізми стану реверсується на мінімальній швидкості поштовхами, і передній кінець штаби (раніше колишній задньої) задається в зьов правої моталки.

Після захоплення заднього кінця штаби правою моталкою і створення натягу старший вальцювальник вимірює товщину штаби ручним мікрометром і налаштовує стан на необхідну товщину. Для виміру товщини штаби ручним мікрометром стан зупиняється, набудовується на задану товщину, потім працює на мінімальній швидкості; після коректування товщини по ізотопному товщиноміру переводиться на робочу швидкість, на якій працює до моменту, поки на розмотувачі залишається 10-15 витків. Потім стан переводиться на мінімальну швидкість, на якій проводиться прокатка до максимально можливого розмотування рулону (на барабані моталки залишається 1,5 витка), після чого стан і моталка реверсується і прокатка ведеться в зворотному напрямку (на розмотувачі також залишається 1,5 витка).

Уповільнення і зупинка стану проводиться автоматично за допомогою безконтактною системи точної зупинки. При ручному керуванні оператори, після кожного пропуску роблять (за показниками продуктиметрів) запис звітів з довжини штаби, по якій здійснюють уповільнення стану.

Зазначений порядок прокатки ведеться відповідно до числа пропусків, необхідним для одержання остаточної товщини штаби. Число пропусків повинне бути непарне, тому що збирання рулонів виробляється з задньої сторони стану.

Після прокатки на остаточною товщину стан зупиняється, з'яв барабану моталки перед станом відкривається, звільняється задній кінець штаби, валки розводяться на таку величину, щоб задній необтиснений кінець штаби вільно, без обтиску, пройшов через валки.

1.4 Заходи щодо реконструкції

Мета випускної роботи бакалавра є розробка заходів з забезпечення прокатки штаб товщиною 0,35x1030 мм.

Для забезпечення прокатки штаб невеликої товщини з великими обтисками слід застосовувати робочі валки малого діаметра. Тому при проектуванні станів холодної прокатки звертає увагу на можливість зменшення діаметрів робочих валків реверсивного стана 1200 з 430 мм до 300 мм.

Для прокатних станів з приводними робочими валками мінімально можливий діаметр робочого валка визначається вимогами компоновки приводу. Застосування робочих валків меншого діаметра можливо, якщо приводним є опорний валок або в разі шестівалкового стану проміжний валок (рис. 1.7). Коли застосовують такий привід, горизонтальні сили викликають вигин робочого валка в сторону, протилежну напрямку руху

штаби; ця тенденція зростає зі зменшенням діаметра валка. З таким приводом зменшення діаметра робочого валка можливо лише в обмежених межах.

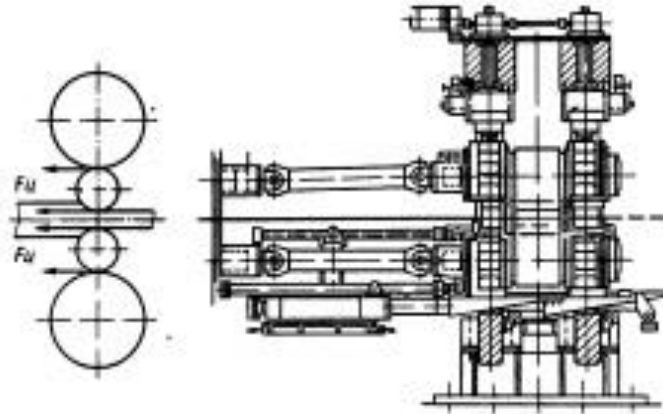


Рисунок 1.7 – Чотирьохвалковий стан з приводними опорними валками

Для зменшення впливу вигину робочих валків застосовують так званий метод горизонтальної стабілізації, щоб зрушити обидва робочих валка в напрямку руху штаби. Величина зсуву залежить від зусилля на валку, моменту прокатки і від натягу штаби на вході і виході. Величину зсуву вибирають таким чином, щоб скомпонувати горизонтальні складові зусилля прокатки і поверхневі сили, що діють на валок.

Діаметр робочого валка можна ще більше зменшити, застосовуючи бічний підпір валка по всій його довжині (рис. 1.8). Для цього розроблено кілька варіантів опорних валків, включаючи систему підпору з одного і з двох сторін. На рис. 1.8 як приклад опорних валків для підпору робочого валка з двох сторін показана Z-образна кліть. Система опорні валки Z-образна кліть стан може працювати і як чотири і як шестивалкові стани.

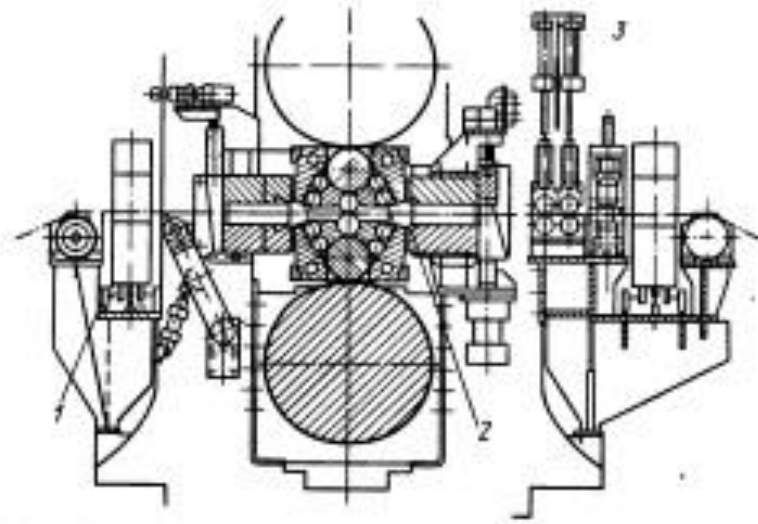


Рисунок 1.8 – Z-образна кліть стан з двостороннім підпором: 1 - вхідна частина табору, а 2 - сопла охолодження штаби; 3 - вихідна частина табору

Вибір діаметра робочих валків залежить від ряду факторів. Зі зменшенням діаметра валків зменшується тиск металу на валки, зменшується їх сплюснення і знижується навантаження на підшипники. Однак робочі валки невеликого діаметра не можуть бути приводними, тому передача крутного моменту виробляється через опорні валки. У цьому випадку значно зростає розміри вузол привод (збільшення відстані між осями приводних валів зажадає збільшення діаметра провідних шестеренних валків і т.д.). Бічний вигин робочі валків і їх скручування попереджає спеціальні опори.

Поширення стани з електроприводом через опорні валки обмежувалися можливим буксуванням робочого валка по опорному при роботі стан. Однак останні дослідження показали, що побоювання буксування є необґрунтованим. Переваги приводу стану через опорні валки наступні [7]:

- 1) можливе застосування в одній кліті кілька комплектів робочих валків різних діаметрів відповідно до товщини штаби, що прокатується;
- 2) можливо передати через шийки опорних валків значно більший крутний момент але порівняно з приводом на робочі валки;

3) полегшується і прискорюється зміна робочих валків, так як немає необхідності від'єднувати універсальні шпинделі;

4) по знижується вимога точності виготовлення робочих валків по діаметру, так як швидкість прокатки визначається в даному випадку окружної швидкості опорних валків;

5) розміри універсальних шпинделів для приводу опорних валків практично не лімітуються, як це буває при воді робочих валків;

6) шпинделі можна забезпечити хорошою системою змащення;

7) застосування індивідуального приводу опорних валків дозволяє відмовитися від установки редуктора, тому необхідність в ретельному підборі по діаметру парних опорних валків відпадає.

Останнім часом намітилася тенденція до збільшення діаметра робочих валків станів холодної прокатки. Так, в роботі [12] показано, що питання про збільшення діаметра робочих валків з 585 до 600 мм на пятнклетевом жестекатальном стані вже вирішене.

В роботі [13] описані технічний розвиток чотирехвалкову станів зі змінними парами валків різних діаметрів. Для різних видів прокату встановлюють робочі валки більшого або меншого діаметру. При цьому співвідношення діаметрів змінюваних валків знаходиться в межах 1: 1,25; 1: 2; стан працює в усіх випадках при однаковому діапазоні швидкостей.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок діючого режиму деформації на стані НСХП 1680

Розрахунок режимів обтискань проводимо на прикладі сталі 08кп з 3,0 мм до 0,9мм (сумарний обтиск 70%). Визначаємо параметри процесу виходячи з режимів обтискань [15] використовуваних на комбінаті ВАТ «Запоріжсталь».

Кліть №1

Початкові умови:

- $h_0=0,003$ – початкова товщина, м;
- $h_1=0,0019$ – товщина штаби після прокатки, м;
- $R=0,25$ – радіус валків, м;
- $b=1,1$ – ширина штаби, м;
- $\sigma_{T0}=300$ – межа текучості до прокатки, МПа;
- $\mu=0,08$ – коефіцієнт зовнішнього тертя;
- $\sigma_0=10$ – натягнення перед першою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h = h_{01} - h_1$$

$$\Delta h = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% ;$$

$$\varepsilon = 35\%$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l := \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

$$l = 0,016 \text{ м}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma} = \frac{2(1-\varepsilon) h_n}{\varepsilon(\delta-1) h_1} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma} = 1,266$$

h_n – висота нейтрального перетину, м;

δ – коефіцієнт;

$$\frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1) \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}};$$

$$\frac{h_n}{h_1} = 1,157$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h};$$

$$\delta = 2,469$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p = n^1_{\sigma} 2\tau_s$$

$$p = 692,24 \text{ МПа}$$

τ_s – контактна напруга, МПа;

$$\tau_s = 1.15 \frac{\sigma_{T0} + \sigma_{T1}}{2}$$

$$\tau_s = 273,47 \text{ МПа}$$

σ_{T1} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T1} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon)^{0,435}$$

$$\sigma_{T1} = 651,2$$

Контактна площа, м²:

$$F = bl$$

$$F = 0,016 \text{ м.}$$

Зусилля шпрокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = pF$$

$$P = 11,22 \text{ МН}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків),
м:

$$l_c = \sqrt{R\Delta h + x_2^2} + x_2$$

$$x_2 = \frac{pR}{9500}$$

$$x_2 = 1,82 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$l_c = 0,018 \text{ м}.$$

Коефіцієнт δ_l :

$$\delta_1 = \frac{2\mu l_c}{\Delta h}$$

$$\delta_l = 2,762$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_n = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_1-1} h_1^{\delta_1+1}}$$

$$h_n = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_l = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_1 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta_1-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_1 + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta_1+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_l = 632,96 \text{ МПа}.$$

ξ_0 – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_1 – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{K_0}$$

$$\xi_0 = 0,971$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{K_1}$$

$$\xi_1 = 0,739.$$

σ_1 – натягнення після першої кліті, МПа;

$$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{T1}$$

$$\sigma_1 = 195,36 \text{ МПа.}$$

K_0 – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_1 – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_0 = 1,15 \sigma_{T0}$$

$$K_0 = 345 \text{ МПа,}$$

$$K_1 = 1,15 \sigma_{T1}$$

$$K_1 = 748,9 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h + x_{22}^2} + x_{22}$$

$$l_{c2} = 0,018 \text{ м}$$

$$x_{22} = \frac{pR}{9500}$$

$$x_{22} = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Коефіцієнт δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{2\mu_{c2}}{\Delta h}$$

$$\delta_2 = 2,736.$$

Висота нейтрального перетину, м;

$$h_{н2} = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_2-1} h_1^{\delta_2+1}}$$

$$h_{н2} = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_2 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_2 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_{н2}} \right)^{\delta_2-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_2 + 2} \left[\left(\frac{h_{н2}}{h_1} \right)^{\delta_2+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_2 = 630,98 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = l_{c2} b$$

$$F = 0,018 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = p_2 F_2$$

$$P = 11,33 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм;

$$M_{np} = 2P_2 \psi l_{c2} + R(\sigma_0 - \sigma_1) h_1 b$$

$\psi = 0,49$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np} = 0,109$$

Нейтральний кут, рад;

$$\gamma_1 = \frac{1}{2R} \left[l_{c2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) h_1}{2\mu \varphi_2} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_1 = 0,03 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_1 = \frac{R}{h_1} (\gamma_1)^2$$

$$s_1 = 0,115$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp1} = P_2 d \mu_1$$

$$M_{mp1} = 9,515 \cdot 10^{-3} \text{ МН*м.}$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np} + M_{mp1})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp2} = 0,012 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\text{дв}} = M_{np} + M_{mp1} + M_{mp2}$$

$$M_{\text{дв}} = 0,13 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} 10^6 \omega$$

ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega = \frac{v}{R}.$$

$v=3,1$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\text{дв}} = 1,618 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Кліть №2*Початкові умови:* $h_{02}=1,95 \cdot 10^{-3}$ – початкова товщина, м; $h_{12}=0,0019$ – товщина штаби після прокатки м; $\sigma_{T02}=651,2$ – межа текучості до прокатки, МПа; $\sigma_{02}=195,36$ – натягнення перед другою кліттю, МПа;*Розрахунок:*

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h_2 = h_{02} - h_{12}$$

$$\Delta h_2 = 6,045 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h_{0,2}} 100\% ;$$

$$\varepsilon_2 = 31\%.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l_2 = \sqrt{R\Delta h_2}$$

$$l_2 = 0,012 \text{ м.}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma_2} = \frac{2(1-\varepsilon_2) h_{n2}}{\varepsilon_2(\delta_2-1) h_{12}} \left[\left(\frac{h_{n2}}{h_{12}} \right)^{\delta_2} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma_2} = 1,336.$$

h_{n2} – висота нейтрального перетину, м;

δ_2 – коефіцієнт;

$$\frac{h_{n12}}{h_{12}} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_2^2 + 1) \left(\frac{h_{02}}{h_{12}} \right) \left(\frac{h_{02}}{h_{12}} \right)^{\delta_2}}}{\delta_2 + 1} \right)^{\frac{1}{\delta_2}};$$

$$\frac{h_{n12}}{h_{12}} = 1,152$$

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_2}{\Delta h_2};$$

$$\delta_2 = 3,254.$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p_2 = n^1_{\sigma_2} 2\tau_{s2}$$

$$p_2 = 396,53 \text{ МПа.}$$

τ_{s2} – контактна напруга, МПа;

$$\tau_{s2} = 1.15 \frac{\sigma_{T02} + \sigma_{T12}}{2}$$

$$\tau_{s2} = 1,06 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

σ_{T12} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T12} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon_2)^{0,435}$$

$$\sigma_{T12} = 728,03 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = bl_2$$

$$F_2 = 0,012 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_2 = p_2 F_2$$

$$P_2 = 13,025 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h_2 + x_{22}^2} + x_{22}$$

$$l_{c2} = 0,015 \text{ м.}$$

$$x_{22} = \frac{p_2 R}{9500}$$

$$x_{22} = 2,788 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт δ_{12} :

$$\delta_{12} = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h_2}$$

$$\delta_{12} = 4,074.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n22} = \sqrt{\frac{\xi_{02}}{\xi_{12}} h_{02}^{\delta_{12}-1} h_{12}^{\delta_{12}+1}}$$

$$h_{n22} = 1,548 \cdot 10^{-3}.$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{12} = \frac{2\tau_{s2}}{\Delta h_2} \left\{ \xi_{02} \frac{h_{02}}{\delta_{12} - 2} \left[\left(\frac{h_{02}}{h_{n12}} \right)^{\delta_{12}-1} - 1 \right] + \xi_{12} \frac{h_{12}}{\delta_{12} + 2} \left[\left(\frac{h_{n12}}{h_{12}} \right)^{\delta_{12}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{12} = 848,526 \text{ МПа.}$$

ξ_{02} – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_{12} – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_{02} = 1 - \frac{\sigma_{02}}{K_{02}}$$

$$\xi_{02} = 0,739$$

$$\xi_{12} = 1 - \frac{\sigma_{12}}{K_{12}}$$

$$\xi_{12} = 0,739.$$

σ_{12} – натягнення після другої кліти, МПа;

$$\sigma_{12} = 0,3 \sigma_{T12}$$

$$\sigma_{12} = 218,41 \text{ МПа.}$$

K_{02} – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_{12} – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_{02} = 1,15 \sigma_{T02}$$

$$K_{02} = 748,9 \text{ МПа.}$$

$$K_{12} = 1,15 \sigma_{T12}$$

$$K_{12} = 837,23 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків):

$$l_{c22} = \sqrt{R\Delta h_2 + x_{22}^2} + x_{22}$$

$$l_{c22} = 0,015 \text{ м.}$$

$$x_{22} = \frac{p_2 R}{9500}$$

$$x_{22} = 2,23 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт δ_{22} :

$$\delta_{22} = \frac{2\mu l_{c22}}{\Delta h_2}$$

$$\delta_{22} = 3,9.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{н22} = \sqrt{\frac{\xi_{02}}{\xi_{12}} h_{02}^{\delta_{22}-1} h_{12}^{\delta_{22}+1}}$$

$$h_{н22} = 1,545 \cdot 10^{-3}.$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{22} = \frac{2\tau_{s2}}{\Delta h_2} \left\{ \xi_{02} \frac{h_{02}}{\delta_{22} - 2} \left[\left(\frac{h_{02}}{h_{н22}} \right)^{\delta_{22}-1} - 1 \right] + \xi_{12} \frac{h_{12}}{\delta_{22} + 2} \left[\left(\frac{h_{н22}}{h_{12}} \right)^{\delta_{22}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{22} = 832,3 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_{22} = l_{c22} b$$

$$F_{22} = 0,015 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_{22} = p_{22} F_{22}$$

$$P_{22} = 12,258 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм:

$$M_{np2} = 2P_{22}\psi l_{c22} + R(\sigma_{02} - \sigma_{12})h_{12}b$$

$\psi = 0,48$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np2} = 0,166 \text{ МН*м.}$$

Нейтральний кут, рад:

$$\gamma_2 = \frac{1}{2R} \left[l_{c22} + \frac{(\sigma_{12} - \sigma_{02})h_{12}}{2\mu p_{22}} - \frac{\Delta h_2}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_2 = 0,022 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_2 = \frac{R}{h_{12}} (\gamma_2)^2$$

$$s_2 = 0,093.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp12} = P_{22} d \mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp12} = 0,01 \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp22} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np2} + M_{mp12})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp22} = 0,018 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\delta 62} = M_{np2} + M_{mp12} + M_{mp22}$$

$$M_{\delta 62} = 0,194 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\delta 62} = M_{\delta 62} 10^6 \omega$$

ω_2 – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_2 = \frac{v_2}{R}.$$

v_2 – швидкість обертання валка, м/с;

$$\omega_2 = 16,8 \text{ рад/с,}$$

$$N_{\delta 62} = 3,254 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Кліть №3

Початкові умови:

$h_{03} = 1,35 \cdot 10^{-3}$ – початкова товщина, м;

$h_{13}=0,00103$ – товщина штаби після прокатки, м;

$\sigma_{T03}=728,03$ – межа текучості до прокатки, МПа;

$\sigma_{03}=218,409$ – натягнення перед другою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h_3 = h_{03} - h_{13}$$

$$\Delta h_3 = 3,162 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta h_3}{h_{03}} 100\% ;$$

$$\varepsilon_3 = 23,5 \text{ \%}.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l_3 = \sqrt{R\Delta h_3}$$

$$l_3 = 8,891 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma_3} = \frac{2(1-\varepsilon_3)}{\varepsilon_3(\delta_3-1)} \frac{h_{n3}}{h_{13}} \left[\left(\frac{h_{n3}}{h_{13}} \right)^{\delta_3} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma_3} = 1,353.$$

h_{n3} – висота нейтрального перетину, м;

δ_3 – коефіцієнт;

$$\frac{h_{n13}}{h_{13}} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_3^2 + 1) \left(\frac{h_{03}}{h_{13}} \right) \left(\frac{h_{03}}{h_{13}} \right)^{\delta_3}}}{\delta_3 + 1} \right)^{\frac{1}{\delta_3}};$$

$$\frac{h_{n13}}{h_{13}} = 1,118$$

$$\delta_3 = \frac{2\mu l_3}{\Delta h_3};$$

$$\delta_3 = 4,5.$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p_3 = n^1 \sigma_3 2\tau_{s3}$$

$$p_3 = 1,159 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

τ_{s3} – контактна напруга, МПа;

$$\tau_{s3} = 1,15 \frac{\sigma_{T03} + \sigma_{T13}}{2}$$

$$\tau_{s3} = 428,34 \text{ МПа.}$$

σ_{T13} – межа текучості після прокатки, МПа;

$$\sigma_{T13} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon_\Sigma)^{0,435}$$

$$\sigma_{T13} = 761,86 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_3 = b l_3$$

$$F_3 = 8,892 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_3 = p_3 F_3$$

$$P_3 = 10,3 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_{c3} = \sqrt{R \Delta h_3 + x_{23}^2} + x_{23}$$

$$l_{c3} = 0,012 \text{ м.}$$

$$x_{23} = \frac{p_3 R}{9500}$$

$$x_{23} = 3,05 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Коефіцієнт δ_{13} :

$$\delta_{13} = \frac{2 \mu l_{c3}}{\Delta h_3}$$

$$\delta_{13} = 6,3.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n23} = \sqrt{\frac{\xi_{03}}{\xi_{13}} h_{03}^{\delta_{13}-1} h_{13}^{\delta_{13}+1}}$$

$$h_{n23} = 1,152 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{13} = \frac{2\tau_{s3}}{\Delta h_3} \left\{ \xi_{03} \frac{h_{03}}{\delta_{03} - 2} \left[\left(\frac{h_{03}}{h_{#13}} \right)^{\delta_{13}-1} - 1 \right] + \xi_{13} \frac{h_{13}}{\delta_{13} + 2} \left[\left(\frac{h_{#13}}{h_{13}} \right)^{\delta_{13}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{13} = 979 \text{ МПа.}$$

ξ_{03} – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_{13} – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_{03} = 1 - \frac{\sigma_{03}}{K_{03}}$$

$$\xi_{03} = 0,739.$$

$$\xi_{13} = 1 - \frac{\sigma_{13}}{K_{13}}$$

$$\xi_{13} = 0,739.$$

σ_{13} – натягнення після другої кліті, МПа;

$$\sigma_{13} = 0,3 \sigma_{T13}$$

$$\sigma_{13} = 228,6 \text{ МПа.}$$

K_{03} – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_{13} – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_{03} = 1,15 \sigma_{T03}$$

$$K_{03} = 837,23 \text{ МПа.}$$

$$K_{13} = 1,15 \sigma_{T13}$$

$$K_{13} = 876,14 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c23} = \sqrt{R\Delta h_3 + x_{23}^2} + x_{23}$$

$$l_{c23} = 0,012 \text{ м.}$$

$$x_{23} = \frac{p_3 R}{9500}$$

$$x_{23} = 2,57 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт δ_{23} :

$$\delta_{23} = \frac{2\mu l_{c23}}{\Delta h_3}$$

$$\delta_{23} = 6.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n23} = \sqrt{\frac{\xi_{03}}{\xi_{13}} h_{03}^{\delta_{23}-1} h_{13}^{\delta_{23}+1}}$$

$$h_{n23} = 1,151 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{23} = \frac{2\tau_{s3}}{\Delta h_3} \left\{ \xi_{03} \frac{h_{03}}{\delta_{23} - 2} \left[\left(\frac{h_{03}}{h_{n23}} \right)^{\delta_{23}-1} - 1 \right] + \xi_{13} \frac{h_{13}}{\delta_{23} + 2} \left[\left(\frac{h_{n23}}{h_{13}} \right)^{\delta_{23}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{23} = 955,65 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_{23} = l_{c23} b$$

$$F_{23} = 0,012 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_{23} = p_{23} F_{23}$$

$$P_{23} = 11,308 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм:

$$M_{np3} = 2P_{23} \psi l_{c23} + R(\sigma_{03} - \sigma_{13}) h_{13} b$$

$\psi = 0,47$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np3} = 0,123 \text{ МН*м.}$$

Нейтральний кут, рад;

$$\gamma_3 = \frac{1}{2R} \left[l_{c23} + \frac{(\sigma_{13} - \sigma_{03}) h_{13}}{2\mu p_{23}} - \frac{\Delta h_3}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_3 = 0,02 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_3 = \frac{R}{h_{13}} (\gamma_3)^2$$

$$s_3 = 0,096.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp13} = P_{23} d \mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp13} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp23} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np3} + M_{mp13})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp23} = 0,013 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\partial 63} = M_{np3} + M_{mp13} + M_{mp23}$$

$$M_{\partial 63} = 0,146 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\text{дв3}} = M_{\text{дв3}} 10^6 \omega$$

ω_3 – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_3 = \frac{v_3}{R}.$$

$v_3 = 5,6$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$\omega_3 = 22,4 \text{ рад/с.}$$

$$N_{\text{дв3}} = 3,274 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Кліть №4

Початкові умови:

$h_{04} = 1,03 \cdot 10^{-3}$ – початкова товщина, м;

$h_{14} = 0,9 \cdot 10^{-3}$ – товщина штаби після прокатки, м;

$\sigma_{T04} = 761,86$ – межа текучості до прокатки, МПа;

$\sigma_{04} = 228,56$ – натягнення перед другою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h_4 = h_{04} - h_{14}$$

$$\Delta h_4 = 3,162 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon_4 = \frac{\Delta h_4}{h_{04}} 100\% ;$$

$$\varepsilon_4 = 13 \text{ \%}.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l_4 = \sqrt{R\Delta h_4}$$

$$l_4 = 5,784 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma_4} = \frac{2(1-\varepsilon_4)}{\varepsilon_4(\delta_4-1)} \frac{h_{n4}}{h_{14}} \left[\left(\frac{h_{n4}}{h_{14}} \right)^{\delta_4} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma_4} = 1,28.$$

h_{n4} – висота нейтрального перетину, м;

δ_4 – коефіцієнт;

$$\frac{h_{n14}}{h_{14}} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_4^2 + 1) \left(\frac{h_{04}}{h_{14}} \right) \left(\frac{h_{04}}{h_{14}} \right)^{\delta_4}}}{\delta_4 + 1} \right)^{\frac{1}{\delta_4}};$$

$$\frac{h_{n14}}{h_{14}} = 1,064$$

$$\delta_4 = \frac{2\mu l_4}{\Delta h_4};$$

$$\delta_4 = 6,92.$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p_4 = n^1_{\sigma_4} 2\tau_{s4}$$

$$p_4 = 1,13 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

τ_{s4} – контактна напруга, МПа;

$$\tau_{s4} = 1,15 \frac{\sigma_{T04} + \sigma_{T14}}{2}$$

$$\tau_{s4} = 441,92 \text{ МПа.}$$

σ_{T14} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T14} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon_{\Sigma 4})^{0,435}$$

$$\sigma_{T14} = 775,2 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_4 = bl_4$$

$$F_4 = 5,78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_4 = p_4 F_4$$

$$P_4 = 6,535 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_{c4} = \sqrt{R\Delta h_4 + x_{24}^2} + x_{24}$$

$$l_{c4}=9,48 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$x_{24} = \frac{p_4 R}{9500}$$

$$x_{24}= 2,973 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт δ_{14} :

$$\delta_{14} = \frac{2\mu l_{c4}}{\Delta h_4}$$

$$\delta_{14}= 11,332.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n24} = \sqrt{\frac{\xi_{04}}{\xi_{14}} h_{04}^{\delta_{14}-1} h_{14}^{\delta_{14}+1}}$$

$$h_{n24}= 9,51 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{14} = \frac{2\tau_{s4}}{\Delta h_4} \left\{ \xi_{04} \frac{h_{04}}{\delta_{04} - 2} \left[\left(\frac{h_{04}}{h_{n14}} \right)^{\delta_{14}-1} - 1 \right] + \xi_{14} \frac{h_{14}}{\delta_{14} + 2} \left[\left(\frac{h_{n14}}{h_{14}} \right)^{\delta_{14}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{14}= 1,024 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

ξ_{04} – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_{14} – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_{04} = 1 - \frac{\sigma_{04}}{K_{04}}$$

$$\xi_{04} = 0,739.$$

$$\xi_{14} = 1 - \frac{\sigma_{14}}{K_{14}}$$

$$\xi_{14} = 0,798.$$

σ_{14} – натягнення після другої кліті, МПа;

$$\sigma_{14} = 0,3 \sigma_{T14}$$

$$\sigma_{14} = 180 \text{ МПа.}$$

K_{04} – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_{14} – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_{04} = 1,15 \sigma_{T04}$$

$$K_{04} = 876,14 \text{ МПа.}$$

$$K_{14} = 1,15 \sigma_{T14}$$

$$K_{14} = 891,54 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків):

$$l_{c24} = \sqrt{R\Delta h_4 + x_{24}^2} + x_{24}$$

$$l_{c24} = 9,074 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$x_{24} = \frac{p_4 R}{9500}$$

$$x_{24} = 2,694 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт δ_{24} :

$$\delta_{24} = \frac{2\mu l_{c24}}{\Delta h_4}$$

$$\delta_{24} = 10,85.$$

Висота нейтрального перетину, м;

$$h_{н24} = \sqrt{\frac{\xi_{04}}{\xi_{14}} h_{04}^{\delta_{24}-1} h_{14}^{\delta_{24}+1}}$$

$$h_{н24} = 9,506 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{24} = \frac{2\tau_{s4}}{\Delta h_4} \left\{ \xi_{04} \frac{h_{04}}{\delta_{24} - 2} \left[\left(\frac{h_{04}}{h_{н24}} \right)^{\delta_{24}-1} - 1 \right] + \xi_{14} \frac{h_{14}}{\delta_{24} + 2} \left[\left(\frac{h_{н24}}{h_{14}} \right)^{\delta_{24}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{24} = 1,004 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_{24} = l_{c24} b$$

$$F_{24} = 0,012 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_{24} = p_{24} F_{24}$$

$$P_{24} = 11,883 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм:

$$M_{np4} = 2P_{24} \nu l_{c24} + R(\sigma_{04} - \sigma_{14}) h_{14} b$$

$\psi = 0,47$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np4} = 0,101 \text{ МН*м.}$$

Нейтральний кут, рад:

$$\gamma_4 = \frac{1}{2R} \left[l_{c24} + \frac{(\sigma_{14} - \sigma_{04})h_{14}}{2\mu p_{24}} - \frac{\Delta h_4}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_4 = 0,022 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_4 = \frac{R}{h_{14}} (\gamma_4)^2$$

$$s_4 = 0,135.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp14} = P_{24} d \mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp14} = 9,98 \cdot 10^{-3} \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp24} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np4} + M_{mp14})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp24} = 0,011 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\delta 64} = M_{np4} + M_{mp14} + M_{mp24}$$

$$M_{\delta 64} = 0,123 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт;

$$N_{\delta 64} = M_{\delta 64} 10^6 \omega$$

Ω_4 – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_4 = \frac{v_4}{R}$$

$v_4 = 6,5$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\delta 64} = 3,189 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

2.2 Проектний розрахунок режиму деформації

Розрахунок режимів обтискань проводимо на прикладі сталі 08кп з 3,0 мм до 0,9мм (сумарне обтискання 70%) прагнучи забезпечити максимальну

продуктивність стану, мінімальні витрати по переділу, отримання листа високої якості на основі вищевикладених фактів (див. 1, 2, 3).

Кліть №1

Початкові умови:

$h_0=0,003$ – початкова товщина, м;

$h_1=2,4 \cdot 10^{-3}$ – товщина штаби після прокатки, м;

$R=0,25$ – радіус валків, м;

$b=1$ – ширина штаби, м;

$\sigma_{T0}=300$ – межа текучості до прокатки, МПа;

$\mu=0,08$ – коефіцієнт зовнішнього тертя;

$\sigma_0=10$ – натягнення перед першою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h := h_0 - h_1$$

$$\Delta h = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% ;$$

$$\varepsilon = 20\%.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l := \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

$$l = 0,012 \text{ м.}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma} = \frac{2(1-\varepsilon) h_n}{\varepsilon(\delta-1) h_1} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma} = 1,187.$$

h_n – висота нейтрального перетину, м;

δ – коефіцієнт;

$$\frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1) \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}};$$

$$\frac{h_n}{h_1} = 1,086$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h};$$

$$\delta = 3,266.$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p = n^1_{\sigma} 2\tau_s$$

$$p = 597,32 \text{ МПа.}$$

τ_s – контактна напруга, МПа;

$$\tau_s = 1.15 \frac{\sigma_{T0} + \sigma_{T1}}{2}$$

$$\tau_s = 251,657 \text{ МПа.}$$

σ_{T1} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T1} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon)^{0,435}$$

$$\sigma_{T1} = 575,328 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F = bl$$

$$F = 0,012 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = pF$$

$$P = 7,316 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_c = \sqrt{R\Delta h + x_2^2} + x_2$$

$$l_c = 0,014 \text{ м.}$$

Коефіцієнт δ_l :

$$\delta_l = \frac{2\mu l_c}{\Delta h}$$

$$\delta_l = 1,572 \cdot 10^{-3}.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_n = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_1-1} h_1^{\delta_1+1}}$$

$$h_n = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_1 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_1 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta_1-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_1 + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta_1+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_1 = 532,147 \text{ МПа.}$$

ξ_0 – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_1 – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{K_0}$$

$$\xi_0 = 0,971.$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{K_1}$$

$$\xi_1 = 0,739.$$

σ_1 – натягнення після першої кліті, МПа;

$$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{T1}$$

$$\sigma_1 = 172,598 \text{ МПа.}$$

K_0 – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_1 – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_0 = 1,15 \sigma_{T0}$$

$$K_0 = 349 \text{ МПа.}$$

$$K_1 = 1,15 \sigma_{T1}$$

$$K_1 = 661,627 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків):

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h + x_{22}^2} + x_{22}$$

$$l_{c2} = 0,014 \text{ м.}$$

$$x_{22} = \frac{pR}{9500}$$

$$x_{22} = 1,4 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h}$$

$$\delta_2 = 3,66.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n2} = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_2-1} h_1^{\delta_2+1}}$$

$$h_{n2} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_2 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_2 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_{h2}} \right)^{\delta_2 - 1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_2 + 2} \left[\left(\frac{h_{h2}}{h_1} \right)^{\delta_2 + 2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_2 = 530,5 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = l_{c2} b$$

$$F = 0,014 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = p_2 F_2$$

$$P = 7,283 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм:

$$M_{np} = 2P_2 \psi l_{c2} + R(\sigma_0 - \sigma_1) h_1 b$$

$\psi = 0,49$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np} = 0,108 \text{ МН*м.}$$

Нейтральний кут, рад:

$$\gamma_1 = \frac{1}{2R} \left[l_{c2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) h_1}{2\mu p_2} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_1 = 0,029 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_1 = \frac{R}{h_1} (\gamma_1)^2$$

$$s_1 = 0,089.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp1} = P_2 d \mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp1} = 6,118 \cdot 10^{-3} \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np} + M_{mp1})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp2} = 0,0114 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\text{дв}} = M_{np} + M_{mp1} + M_{mp2}$$

$$M_{\text{дв}} = 0,103 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} 10^6 \omega$$

ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega = \frac{v}{R}$$

$v=3,381$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\text{дв}} = 1,393 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Кліть №2

Початкові умови:

$h_{02} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ – початкова товщина, м;

$h_{12} = 1,68 \cdot 10^{-3}$ – товщина штаби після прокатки, м;

$\sigma_{T02} = 575,328$ – межа текучості до прокатки, МПа;

$\sigma_{02} = 172,598$ – натягнення перед другою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h_2 = h_{02} - h_{12}$$

$$\Delta h_2 = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h_2}{h_{0,2}} 100\% ;$$

$$\varepsilon_2 = 30 \text{ \%}.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l_2 = \sqrt{R\Delta h_2}$$

$$l_2 = 0,013 \text{ м.}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma_2} = \frac{2(1-\varepsilon_2)}{\varepsilon_2(\delta_2-1)} \frac{h_{н2}}{h_{12}} \left[\left(\frac{h_{н2}}{h_{12}} \right)^{\delta_2} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma_2} = 1,283.$$

$h_{н2}$ – висота нейтрального перетину, м;

δ_2 – коефіцієнт;

$$\frac{h_{н12}}{h_{12}} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_2^2 + 1) \left(\frac{h_{02}}{h_{12}} \right) \left(\frac{h_{02}}{h_{12}} \right)^{\delta_2}}}{\delta_2 + 1} \right)^{\frac{1}{\delta_2}} ;$$

$$\frac{h_{н12}}{h_{12}} = 1,14$$

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_2}{\Delta h_2};$$

$$\delta_2 = 2,981.$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p_2 = n^1 \sigma_2 2\tau_{s2}$$

$$p_2 = 931,662 \text{ МПа.}$$

τ_{s2} – контактна напруга, МПа;

$$\tau_{s2} = 1.15 \frac{\sigma_{T02} + \sigma_{T12}}{2}$$

$$\tau_{s2} = 363,2 \text{ МПа.}$$

σ_{T02} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T12} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon_2)^{0,435}$$

$$\sigma_{T02} = 687,975 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = bl_2$$

$$F_2 = 0,013 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_2 = p_2 F_2$$

$$P_2 = 12,5 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків),

м:

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h_2 + x_{22}^2} + x_{22}$$

$$l_{c2} = 0,016 \text{ м.}$$

$$x_{22} = \frac{p_2 R}{9500}$$

$$x_{22} = 2,452 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт δ_{12} :

$$\delta_{12} = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h_2}$$

$$\delta_{12} = 3,576.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{h22} = \sqrt{\frac{\xi_{02}}{\xi_{12}} h_{02}^{\delta_{12}-1} h_{12}^{\delta_{12}+1}}$$

$$h_{h22} = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{12} = \frac{2\tau_{s2}}{\Delta h_2} \left\{ \xi_{02} \frac{h_{02}}{\delta_{12} - 2} \left[\left(\frac{h_{02}}{h_{h12}} \right)^{\delta_{12}-1} - 1 \right] + \xi_{12} \frac{h_{12}}{\delta_{12} + 2} \left[\left(\frac{h_{h12}}{h_{12}} \right)^{\delta_{12}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{12} = 726,7 \text{ МПа.}$$

ξ_{02} – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_{12} – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_{02} = 1 - \frac{\sigma_{02}}{K_{02}}$$

$$\xi_{02} = 0,739.$$

$$\xi_{12} = 1 - \frac{\sigma_{12}}{K_{12}}$$

$$\xi_{12} = 0,739.$$

σ_{12} – натягнення після другої кліти, МПа;

$$\sigma_{12} = 0,3 \sigma_{T12}$$

$$\sigma_{12} = 206,392 \text{ МПа.}$$

K_{02} – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_{12} – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_{02} = 1,15 \sigma_{T02}$$

$$K_{02} = 661,627 \text{ МПа.}$$

$$K_{12} = 1,15 \sigma_{T12}$$

$$K_{12} = 791,171 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків):

$$l_{c22} = \sqrt{R\Delta h_2 + x_{22}^2} + x_{22}$$

$$l_{c22} = 0,015 \text{ м.}$$

$$x_{22} = \frac{p_2 R}{9500}$$

$$x_{22} = 1,9 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт δ_{22} :

$$\delta_{22} = 3,437.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n22} = \sqrt{\frac{\xi_{02}}{\xi_{12}} h_{02}^{\delta_{22}-1} h_{12}^{\delta_{22}+1}}$$

$$h_{n22} = 1,906 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{22} = \frac{2\tau_{s2}}{\Delta h_2} \left\{ \xi_{02} \frac{h_{02}}{\delta_{22} - 2} \left[\left(\frac{h_{02}}{h_{n22}} \right)^{\delta_{22}-1} - 1 \right] + \xi_{12} \frac{h_{12}}{\delta_{22} + 2} \left[\left(\frac{h_{n22}}{h_{12}} \right)^{\delta_{22}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{22} = 716,157 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_{22} = l_{c22} b$$

$$F_{22} = 0,015 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_{22} = p_{22} F_{22}$$

$$P_{22} = 11,075 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм:

$$M_{np2} = 2P_{22}\psi l_{c22} + R(\sigma_{02} - \sigma_{12})h_{12}b$$

$\psi = 0,48$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np2} = 0,15 \text{ МН*м.}$$

Нейтральний кут, рад:

$$\gamma_2 = \frac{1}{2R} \left[l_{c22} + \frac{(\sigma_{12} - \sigma_{02})h_{12}}{2\mu p_{22}} - \frac{\Delta h_2}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_2 = 0,023 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_2 = \frac{R}{h_{12}} (\gamma_2)^2$$

$$s_2 = 0,078.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp12} = P_{22} d\mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp12} = 9,303 \cdot 10^{-3} \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp22} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np2} + M_{mp12})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\delta 2} = M_{np2} + M_{mp12} + M_{mp22}$$

$$M_{\delta 2} = 0,016 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\delta 2} = M_{\delta 2} 10^6 \omega$$

ω_2 – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_2 = \frac{v_2}{R}$$

$v_2 = 4,83$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\delta 2} = 3,395 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Кліть №3*Початкові умови:*

- $h_{03} = 1,68 \cdot 10^{-3}$ – початкова товщина, м;
 $h_{13} = 1,176 \cdot 10^{-3}$ – товщина штаби після прокатки, м;
 $\sigma_{T03} = 687,975$ – межа текучості до прокатки, МПа;
 $\sigma_{03} = 206,392$ – натягнення перед другою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h_3 = h_{03} - h_{13}$$

$$\Delta h_3 = 5,04 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon_3 = \frac{\Delta h_3}{h_{03}} 100\% ;$$

$$\varepsilon_3 = 30 \text{ \%}.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l_3 = \sqrt{R \Delta h_3}$$

$$l_3 = 0,011 \text{ м.}$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma_3} = \frac{2(1 - \varepsilon_3)}{\varepsilon_3(\delta_3 - 1)} \frac{h_{n3}}{h_{13}} \left[\left(\frac{h_{n3}}{h_{13}} \right)^{\delta_3} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma_3} = 1,364.$$

$h_{н3}$ – висота нейтрального перетину, м;

δ_3 – коефіцієнт;

$$\frac{h_{н13}}{h_{13}} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + \left(\delta_3^2 + 1 \right) \left(\frac{h_{03}}{h_{13}} \right) \left(\frac{h_{03}}{h_{13}} \right)^{\delta_3}}}{\delta_3 + 1} \right)^{\frac{1}{\delta_3}};$$

$$\frac{h_{н13}}{h_{13}} = 1,151$$

$$\delta_3 = \frac{2\mu l_3}{\Delta h_3};$$

$$\delta_3 = 3,563.$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p_3 = n^1_{\sigma_3} 2\tau_{s3}$$

$$p_3 = 1,125 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

τ_{s3} – контактна напруга, МПа;

$$\tau_{s3} = 1,15 \frac{\sigma_{T03} + \sigma_{T13}}{2}$$

$$\tau_{s3} = 412,435 \text{ МПа.}$$

σ_{T13} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T13} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon_\Sigma)^{0,435}$$

$$\sigma_{T13} = 746,58 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_3 = bl_3$$

$$F_3 = 0,011 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_3 = p_3 F_3$$

$$P_3 = 12,631 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_{c3} = \sqrt{R\Delta h_3 + x_{23}^2} + x_{23}$$

$$l_{c3} = 0,015 \text{ м.}$$

$$x_{23} = \frac{p_3 R}{9500}$$

$$x_{23} = 2,961 \cdot 10^{-3}.$$

Коефіцієнт δ_{13} :

$$\delta_{13} = \frac{2\mu l_{c3}}{\Delta h_3}$$

$$\delta_{13} = 4,625.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{H23} = \sqrt{\frac{\xi_{03}}{\xi_{13}} h_{03}^{\delta_{13}-1} h_{13}^{\delta_{13}+1}}$$

$$h_{H23} = 1,352 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{13} = \frac{2\tau_{s3}}{\Delta h_3} \left\{ \xi_{03} \frac{h_{03}}{\delta_{03} - 2} \left[\left(\frac{h_{03}}{h_{H13}} \right)^{\delta_{13}-1} - 1 \right] + \xi_{13} \frac{h_{13}}{\delta_{13} + 2} \left[\left(\frac{h_{H13}}{h_{13}} \right)^{\delta_{13}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{13} = 921,311 \text{ МПа.}$$

ξ_{03} – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_{13} – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_{03} = 1 - \frac{\sigma_{03}}{K_{03}}$$

$$\xi_{03} = 0,739.$$

$$\xi_{13} = 1 - \frac{\sigma_{13}}{K_{13}}$$

$$\xi_{13} = 0,739.$$

σ_{13} – натягнення після другої кліті, МПа;

$$\sigma_{13} = 0,3 \sigma_{T13}$$

$$\sigma_{13} = 223,974 \text{ МПа.}$$

K_{03} – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_{13} – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_{03} = 1,15 \sigma_{T03}$$

$$K_{03} = 791,171 \text{ МПа.}$$

$$K_{13} = 1,15 \sigma_{T13}$$

$$K_{13} = 858,567 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c23} = \sqrt{R\Delta h_3 + x_{23}^2} + x_{23}$$

$$l_{c23} = 0,014 \text{ м.}$$

$$x_{23} = \frac{p_3 R}{9500}$$

$$x_{23} = 2,425 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Коефіцієнт δ_{23} :

$$\delta_{23} = \frac{2\mu l_{c23}}{\Delta h_3}$$

$$\delta_{23} = 4,415.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n23} = \sqrt{\frac{\xi_{03}}{\xi_{13}} h_{03}^{\delta_{23}-1} h_{13}^{\delta_{23}+1}}$$

$$h_{n23} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{23} = \frac{2\tau_{s3}}{\Delta h_3} \left\{ \xi_{03} \frac{h_{03}}{\delta_{23} - 2} \left[\left(\frac{h_{03}}{h_{H23}} \right)^{\delta_{23}-1} - 1 \right] + \xi_{13} \frac{h_{13}}{\delta_{23} + 2} \left[\left(\frac{h_{H23}}{h_{13}} \right)^{\delta_{23}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{23} = 901,197 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_{23} = l_{c23} b$$

$$F_{23} = 0,014 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_{23} = p_{23} F_{23}$$

$$P_{23} = 12,534 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм:

$$M_{np3} = 2P_{23} \psi l_{c23} + R(\sigma_{03} - \sigma_{13}) h_{13} b$$

$\psi = 0,47$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np3} = 0,159 \text{ МН*м.}$$

ейтральний кут, рад:

$$\gamma_3 = \frac{1}{2R} \left[l_{c23} + \frac{(\sigma_{13} - \sigma_{03}) h_{13}}{2\mu p_{23}} - \frac{\Delta h_3}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_3 = 0,022 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_3 = \frac{R}{h_{13}} (\gamma_3)^2$$

$$s_3 = 0,101.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp13} = P_{23} d \mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp13} = 0,011 \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp23} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np3} + M_{mp13})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp23} = 0,017 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\delta 63} = M_{np3} + M_{mp13} + M_{mp23}$$

$$M_{\delta 63} = 0,186 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\delta 63} = M_{\delta 63} 10^6 \omega$$

ω_3 – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_3 = \frac{v_3}{R}.$$

$v_3=6,9$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\delta 63} = 5,145 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Кліть №4

Початкові умови:

$h_{04} = 1,176 \cdot 10^{-3}$ – початкова товщина, м;

$h_{14} = 0,9$ – товщина штаби після прокатки, мм;

$\sigma_{T04} = 746,58$ – межа текучості до прокатки, МПа;

$\sigma_{04} = 223,974$ – натягнення перед другою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h_4 = h_{04} - h_{14}$$

$$\Delta h_4 = 5,04 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon_4 = \frac{\Delta h_4}{h_{04}} 100\% ;$$

$$\varepsilon_4 = 23,5 \text{ \%}.$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l_4 = \sqrt{R\Delta h_4}$$

$$l_4 = 8,312 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя:

$$n^1_{\sigma 4} = \frac{2(1-\varepsilon_4)}{\varepsilon_4(\delta_4-1)} \frac{h_{n4}}{h_{14}} \left[\left(\frac{h_{n4}}{h_{14}} \right)^{\delta_4} - 1 \right]$$

$$n^1_{\sigma 4} = 1,386.$$

h_{n4} – висота нейтрального перетину, м;

δ_4 – коефіцієнт;

$$\frac{h_{n14}}{h_{14}} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta_4^2 + 1) \left(\frac{h_{04}}{h_{14}} \right) \left(\frac{h_{04}}{h_{14}} \right)^{\delta_4}}}{\delta_4 + 1} \right)^{\frac{1}{\delta_4}} ;$$

$$\frac{h_{n14}}{h_{14}} = 1,12$$

$$\delta_4 = \frac{2\mu l_4}{\Delta h_4} ;$$

$$\delta_4 = 4,812$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p_4 = n^1 \sigma_4 2\tau_{s4}$$

$$p_4 = 1,212 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

τ_{s4} – контактна напруга, МПа;

$$\tau_{s4} = 1.15 \frac{\sigma_{T04} + \sigma_{T14}}{2}$$

$$\tau_{s4} = 437,41 \text{ МПа.}$$

σ_{T14} – межа текучості посту прокатки, МПа;

$$\sigma_{T14} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon_{\Sigma 4})^{0,435}$$

$$\sigma_{T14} = 774,845 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_4 = bl_4$$

$$F_4 = 8,312 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_4 = p_4 F_4$$

$$P_4 = 10,077 \text{ МН.}$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків),

м:

$$l_{c4} = \sqrt{R\Delta h_4 + x_{24}^2} + x_{24}$$

$$l_{c4} = 0,012 \text{ м.}$$

$$x_{24} = \frac{p_4 R}{9500}$$

$$x_{24} = 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Коефіцієнт δ_{14} :

$$\delta_{14} = \frac{2\mu l_{c4}}{\Delta h_4}$$

$$\delta_{14} = 7,002.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{n24} = \sqrt{\frac{\xi_{04}}{\xi_{14}} h_{04}^{\delta_{14}-1} h_{14}^{\delta_{14}+1}}$$

$$h_{n24} = 1,004 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{14} = \frac{2\tau_{s4}}{\Delta h_4} \left\{ \xi_{04} \frac{h_{04}}{\delta_{04} - 2} \left[\left(\frac{h_{04}}{h_{n14}} \right)^{\delta_{14}-1} - 1 \right] + \xi_{14} \frac{h_{14}}{\delta_{14} + 2} \left[\left(\frac{h_{n14}}{h_{14}} \right)^{\delta_{14}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{14} = 1,089 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

ξ_{04} – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_{14} – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_{04} = 1 - \frac{\sigma_{04}}{K_{04}}; \xi_{04} = 0,739; \xi_{14} = 1 - \frac{\sigma_{14}}{K_{14}}; \xi_{14} = 0,798;$$

σ_{14} – натягнення після другої кліті, МПа;

$$\sigma_{14} = 0,3 \sigma_{T14} \sigma_{14} = 180 \text{ МПа.}$$

K_{04} – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_{14} – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_{04} = 1,15 \sigma_{T04}$$

$$K_{04} = 859,567 \text{ МПа.}$$

$$K_{14} = 1,15 \sigma_{T14}$$

$$K_{14} = 891,071 \text{ МПа.}$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків):

$$l_{c24} = \sqrt{R\Delta h_4 + x_{24}^2} + x_{24}$$

$$l_{c24} = 0,012 \text{ м.}$$

$$x_{24} = \frac{p_4 R}{9500}$$

$$x_{24} = 2,865 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Коефіцієнт δ_{24} :

$$\delta_{24} = \frac{2\mu l_{c24}}{\Delta h_4}$$

$$\delta_{24} = 6,749.$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_{н24} = \sqrt{\frac{\xi_{04}}{\xi_{14}} h_{04}^{\delta_{24}-1} h_{14}^{\delta_{24}+1}}$$

$$h_{н24} = 1,003 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_{24} = \frac{2\tau_{s4}}{\Delta h_4} \left\{ \xi_{04} \frac{h_{04}}{\delta_{24} - 2} \left[\left(\frac{h_{04}}{h_{н24}} \right)^{\delta_{24}-1} - 1 \right] + \xi_{14} \frac{h_{14}}{\delta_{24} + 2} \left[\left(\frac{h_{н24}}{h_{14}} \right)^{\delta_{24}+2} - 1 \right] \right\}$$

$$p_{24} = 1,067 \cdot 10^3 \text{ МПа.}$$

Контактна площа, м²:

$$F_{24} = l_{c24} b$$

$$F_{24} = 0,012 \text{ м}^2.$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P_{24} = p_{24} F_{24}$$

$$P_{24} = 12,438 \text{ МН.}$$

Момент прокатки, МНм;

$$M_{np4} = 2P_{24} \psi l_{c24} + R(\sigma_{04} - \sigma_{14}) h_{14} b$$

$\psi = 0,47$ – коефіцієнт плеча прокатки [];

$$M_{np4} = 0,136 \text{ МН*м.}$$

Нейтральний кут, рад:

$$\gamma_4 = \frac{1}{2R} \left[l_{c24} + \frac{(\sigma_{14} - \sigma_{04})h_{14}}{2\mu p_{24}} - \frac{\Delta h_4}{2\mu} \right]$$

$$\gamma_4 = 0,024 \text{ рад.}$$

Випередження металу:

$$s_4 = \frac{R}{h_{14}} (\gamma_4)^2$$

$$s_4 = 0,165.$$

Момент тертя в підшипнику, МНм:

$$M_{mp14} = P_{24} d \mu_1$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp14} = 0,01 \text{ МН*м.}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм:

$$M_{mp24} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np4} + M_{mp14})$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp23} = 0,015 \text{ МН*м.}$$

Момент на двигуні, МНм:

$$M_{\delta 64} = M_{np4} + M_{mp14} + M_{mp24}$$

$$M_{\delta 64} = 0,162 \text{ МН*м.}$$

Потужність двигуна, Вт:

$$N_{\delta 64} = M_{\delta 64} 10^6 \omega$$

ω_4 – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_4 = \frac{v_4}{R}$$

$v_4=9$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\delta 64} = 5819 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків режимів обтискань за новою і старою технологією зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Режими деформації

№	Величина	№ кліті	Режими обтиснень заводу «Запоріжсталь»	Режими обтиснень за новою технологією
1	ε , %	1	36,7	20
		2	27,9	30
		3	25,5	30
		4	11,7	23,5
2	$\sum \varepsilon$, %	1	36,67	20
		2	55,15	44
		3	65,69	60,8
		4	70	70
3	h , мм	1	1,9	2,4
		2	1,37	1,17
		3	1,03	1,03
		4	0,9	0,9
4	Δh , мм	1	1,10	0,6
		2	0,53	0,72
		3	0,35	0,5
		4	0,12	0,276
5	σ_{T1} , Мпа	1	651,213	575,33
		2	728,03	687,98
		3	761,863	746,58
		4	775,252	775,252
6	P , МН	1	12,258	11,075
		2	12,256	11,1
		3	11,308	12,534
		4	11,883	12,438
7	M_{np} , $M_{нм}$	1	0,109	0,108
		2	0,166	0,15
		3	0,123	0,159
		4	0,101	0,136
8	$M_{об}$, $M_{нм}$	1	0,13	0,103
		2	0,194	0,176
		3	0,146	0,186
		4	0,123	0,162
9	V , м/с	1	3,1	3,38
		2	4,2	4,83
		3	5,6	6,9
		4	6,5	9
10	$N_{об}$, Вт	1	$1,618 \cdot 10^6$	$1,393 \cdot 10^6$
		2	$3,254 \cdot 10^6$	$3,395 \cdot 10^6$
		3	$3,274 \cdot 10^6$	$5,145 \cdot 10^6$
		4	$3,189 \cdot 10^6$	$5,819 \cdot 10^6$

Перерахунок обтискань проводився з метою, мінімізувати витрати по переділу, отримання листа високої якості на основі вищевикладених фактів. У зв'язку з цим провели зміну розподілу приватних обтисків по клітях (рис. 2.1).

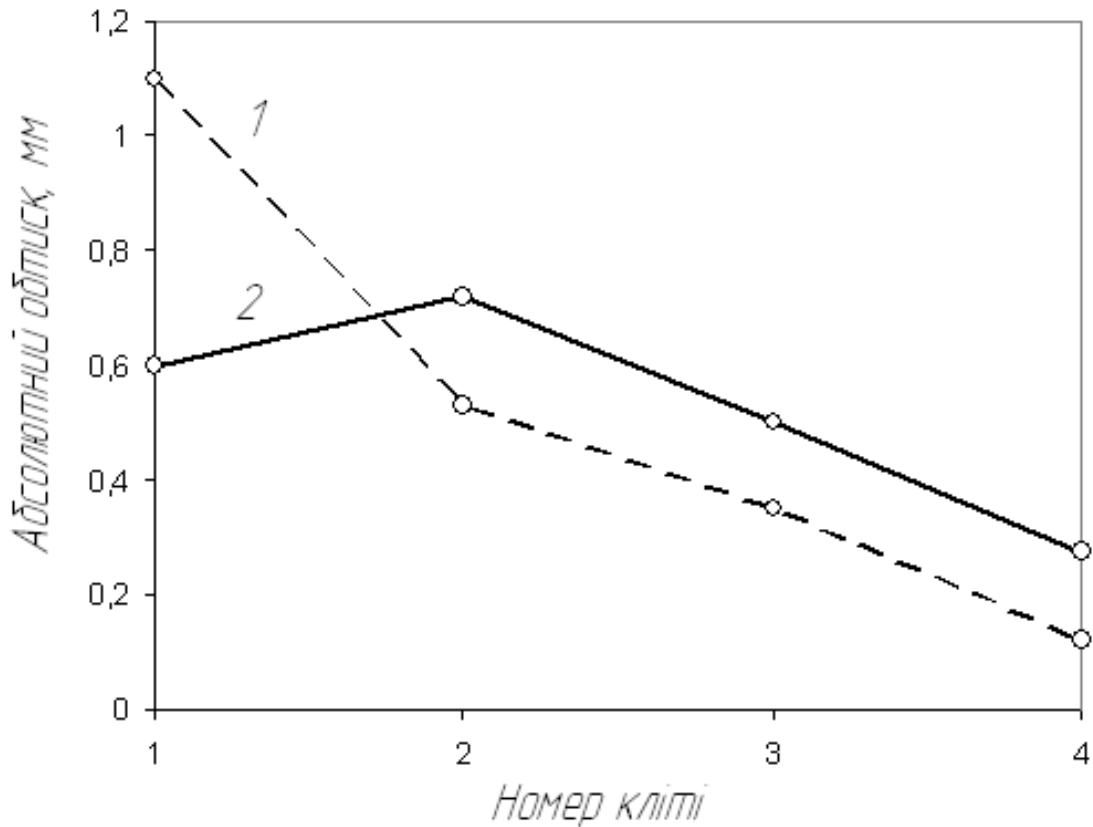


Рисунок 2.1 – Розподіл абсолютного обтиска по клітях: 1 – базовий режим; 2 – новий режим.

В результаті зміни розподілу режимів обтисків відбулася зміна параметрів технологічного процесу прокатки: розподіл пластичності сталі – σ_s (рис. 2.2) і як наслідок розподіл зусилля прокатки (рис. 2.3) в порівнянні з базовою технологією.

За новою технологією двигун першої кліті працює із значним недовантаженням в слідстві зниження обтискання в першій клітці при малому значенні натягненні перед першою кліттю (створюваного проводкою пресу).

Для підвищення продуктивності стану необхідно збільшити швидкість прокатки.

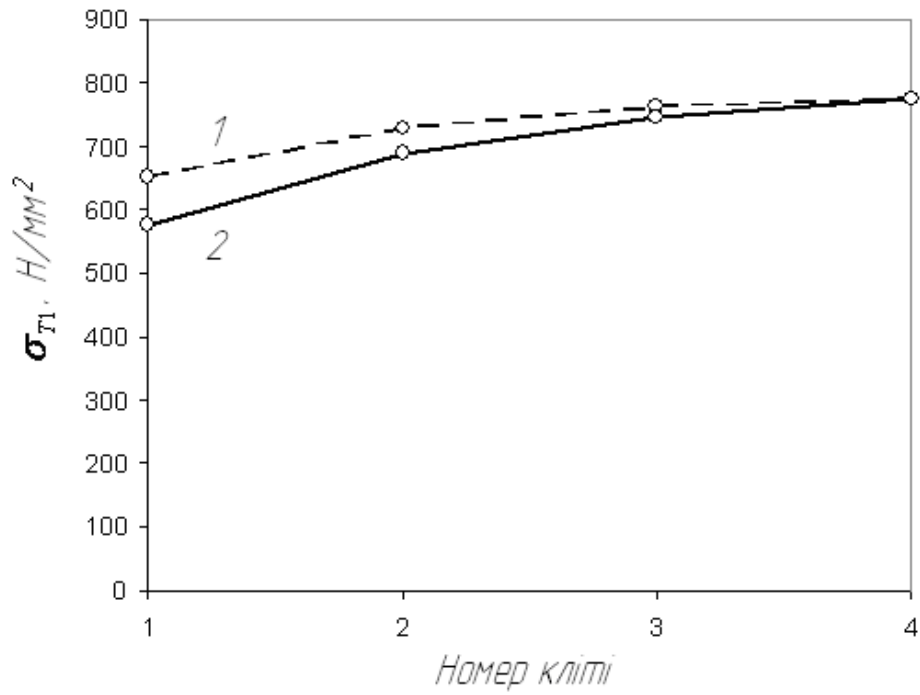


Рисунок 2.2 - Зміна пластичності сталі по клітях: 1 – базовий режим; 2 – новий режим.

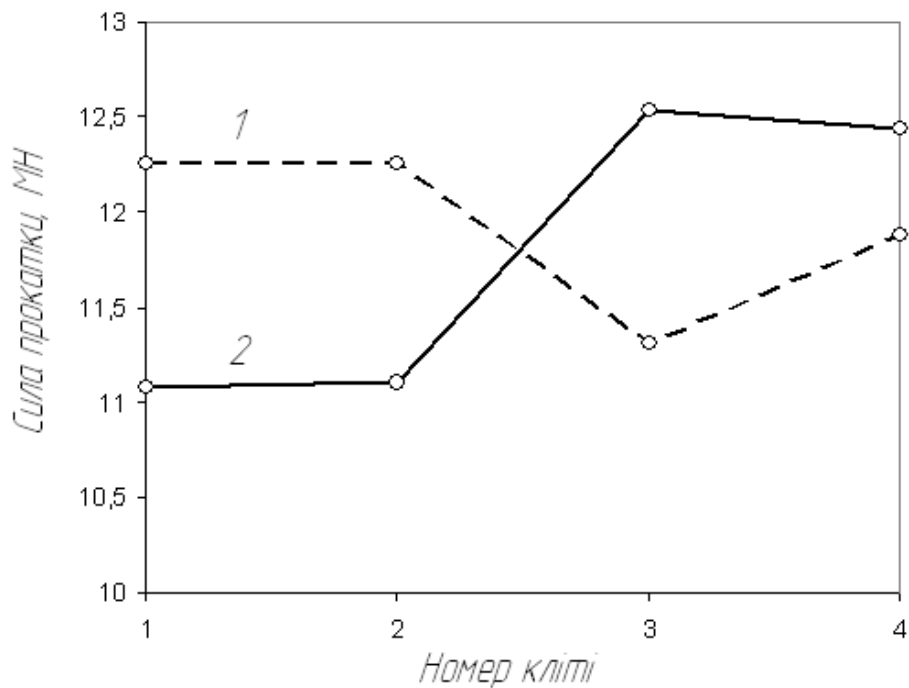


Рисунок 2.3 – Розподіл сили прокатки по клітях: 1 – базовий режим; 2 – новий режим.

2.3 Аналіз повздожньої різнотовщинності штаб

Одним з істотних факторів, що впливають на подовжню різнотовщинність штаб, є нестабільність зусилля прокатки ΔP_i . У зв'язку з цим подовжню різнотовщинність штаби, при постійному вихідному зазорі між робочими валками, автори ряду робіт [8, 20] подають як диференціальне рівняння:

$$dh_1 = S_0 + \frac{dP_i}{M_{\text{сп}}},$$

Для розрахунку даного рівняння необхідно знайти величину dP , котра є функцією наступних величин:

$$P_i = f(h_0, h_1, R_p, b, \sigma_{\text{ф.пл}}, \mu, T_0, T_1),$$

де h_0, h_1 – товщина штаби на вході в робочу кліть та на виході з неї; R_p – радіус бочки робочого валка; b – ширина полоси; $\sigma_{\text{ф.пл}}$ – значення сопроотиву пластичної деформації; μ – коефіцієнт тертя в осередку деформації; T_0, T_1 – сили заднього и переднього натяження.

Повний дифференціал рівняння дорівнює:

$$dP = \frac{\partial P}{\partial h_0} dh_0 + \frac{\partial P}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial P}{\partial R_p} dR_p + \frac{\partial P}{\partial b} db + \frac{\partial P}{\partial \sigma_{\text{ф.пл}}} d\sigma_{\text{ф.пл}} + \frac{\partial P}{\partial \mu} d\mu + \frac{\partial P}{\partial T_0} dT_0 + \frac{\partial P}{\partial T_1} dT_1.$$

Методи визначення числових значень частних похідних рівняння і побудова алгоритмів управління, налаштування, стабілізації і контролю процесу прокатки на тонколистових станах представлено в роботах [8; 22-24], однак матеріал даних робіт орієнтований переважно на розробку і моделювання систем автоматизації листових станів. Інший істотний недолік даних робіт - використання для розрахунку зусиль прокатки класичних

методик [9-11], які розроблені без урахування напруженого стану штаби, що прокатується в пружних ділянках осередку деформації, тому їх застосування для моделювання поздовжньої різнотовщинності і енергосилового розрахунку процесу гарячої прокатки штаб товщиною 0, 8-3,5 мм не дасть необхідної точності.

Найбільш перспективним способом моделювання поздовжньої різнотовщинності може служити аналіз графічної інтерпретації спільного рішення рівняння пружної деформації кліті і залежності зусилля прокатки від товщини штаби (рис. 1.2), представлений в роботі [25].

На схемі рис. 1.2 по вертикальній осі відкладені зусилля прокатки в i -й кліті стану гарячої прокатки, а по горизонтальній - зазор між робочими валками S_i і товщина штаби, що протується, змінюється від h_{i-1} до h_i . Пряма l графічно зображує рівняння пружної деформації кліті (зміна зусилля прокатки P_i в функції зазору S_i):

$$P_i = M_{\text{кл}}(S_i - S_0),$$

де S_0 – попередньо встановлений зазор (якщо $S_0 < 0$, валки попередньо стиснуті, тобто знаходяться в «забої»), що характерно для прокатки тонких штаб, в цьому випадку абсолютні величини S_i і S_0 в вираженні підсумовуються);

$M_{\text{кл}}$ - модуль жорсткості робочої кліті, МН/мм (зусилля, необхідне для зміни зазору S_i на 1 мм); він чисельно дорівнює тангенсу кута φ нахилу прямої l .

Лінія 2 графічно зображує функціональну залежність зусилля прокатки від товщини штаби, що виходить з кліті штаби h_i , якщо товщина на вході в кліть дорівнює h_{i-1} :

$$P_i = P_i(h_{i-1}; h_i)$$

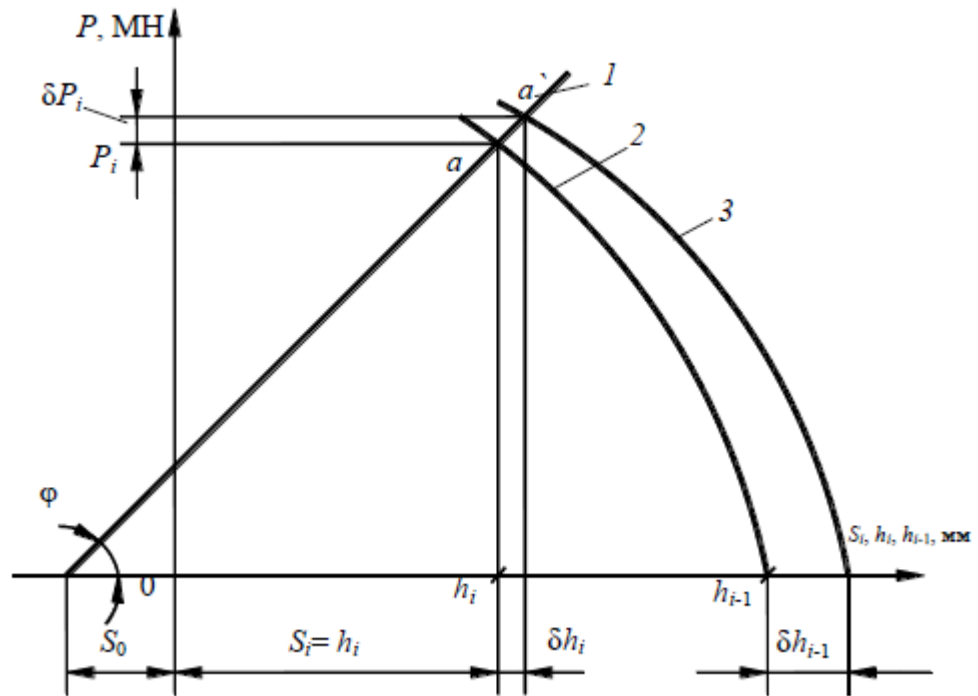


Рисунок 2.4 –Графічне рішення рівнянь пружної деформації i -й робочої кліті і функціональної залежності зусилля прокатки від товщини штаби

Функція $P_i(h_{i-1}; h_i)$ може бути отримана розрахунковим шляхом за допомогою моделі енергосилових параметрів стану гарячої прокатки [1-7], згідно з якою, зусилля прокатки, крім обтиснення (різниці $h_{i-1} - h_i$), збільшується з ростом середнього опору деформації в кліті $\sigma\phi_i$, коефіцієнта тертя в осередку деформації μ_i , швидкості деформації та зменшується з ростом температури штаби (через зменшення величини $\sigma\phi_i$), а також її натяжіння.

Спільне рішення рівнянь (1.11) і (1.12) графічно виражено точкою a перетину ліній 1 і 2, що визначає зусилля прокатки P_i при заданій товщині штаби, що виходить h_i . Якщо в процесі прокатки виникло відхилення δh_{i-1} від заданої товщини підкату h_{i-1} , то для підкату товщиною $(h_{i-1} + \delta h_{i-1})$ залежність (1.12) зусилля прокатки від товщини штаби графічно виражається кривою 3, а точка a' перетину кривої 3 з прямою 1 дасть нові значення товщини штаби на виході з кліті $(h_i + \delta h_i)$ і зусилля прокатки $(P_i + \delta P_i)$, а

також величини коливань цих параметрів δh_i і δP_i , що залежать від коливань товщини підкату δh_{i-1} .

При цьому відносна поздовжня різнотовщинність підкату при правильному налаштуванні стану збережеться:

$$\frac{\delta h_{i-1}}{h_{i-1}} = \frac{\delta h_i}{h_i},$$

а абсолютне її значення зменшиться пропорційно коефіцієнту обтиснення:

$$\delta h_i = \delta h_{i-1} \cdot \eta,$$

$$\text{де } \eta = \frac{h_i}{h_{i-1}}.$$

На рис. 2.5 графічно зіставлені величини поздовжньої різнотовщинності штаби на виході з 4ої кліті НСХП «1680» ВАТ «Запоріжсталь» при робочому і вдосконаленому режимах на прикладі прокатки штаби зі сталі 08ГСЮТ шириною 1000 мм завтовшки 0,9 мм. У робочому режимі товщина штаби на вході в 3ю кліть $h_{2p} = 1,37$ мм, а на виході $h_{3p} = 1,03$ мм, коефіцієнт обтиснення $\eta_{3p} = 0,752$. Вважаючи, що максимальне значення поздовжньої різнотовщинності становить 8% від товщини штаби, її значення на вході в 3ю кліть $\delta h_{2p} = 0,08 \cdot 1,37 = 0,11$ мм, а на виході $\delta h_{3p} = 0,11 \cdot 0,752 = 0,083$ мм.

У вдосконаленому режимі штаба після другої кліті має товщину меншу, ніж в робочому режимі: $h_{2y} = 1,17$ мм, коефіцієнт обтиснення $\eta_{3p} = 0,88$. Отже, на вході в 3ю кліть поздовжня різнотовщинність складе: $\delta h_{2p} = 0,08 \cdot 1,17 = 0,094$ мм.

Товщина штаби на виході з 3ьої кліті при вдосконаленому режимі дорівнює $h_{3y} = 1,03$, мм, коефіцієнт обтиснення $\eta_{3y} = 0,88$. Отже, поздовжня різнотовщинність на виході з 4ої кліті дорівнюватиме

$\delta h_{3p} = 0,094 \cdot 0,88 = 0,08 \text{ мм}$, тобто в порівнянні з робочим режимом, вона зменшилася на 17% на вході в 3-ю кліть. Відповідно зменшилися і коливання зусилля прокатки. Заштриховані на рис. 1.3 області коливань товщини і зусилля прокатки наочно демонструють перевагу збільшення обтиснень в останніх клітках за рахунок зменшення їх в перших клітках чистої групи стану холодної прокатки, реалізоване в удосконаленому режимі.

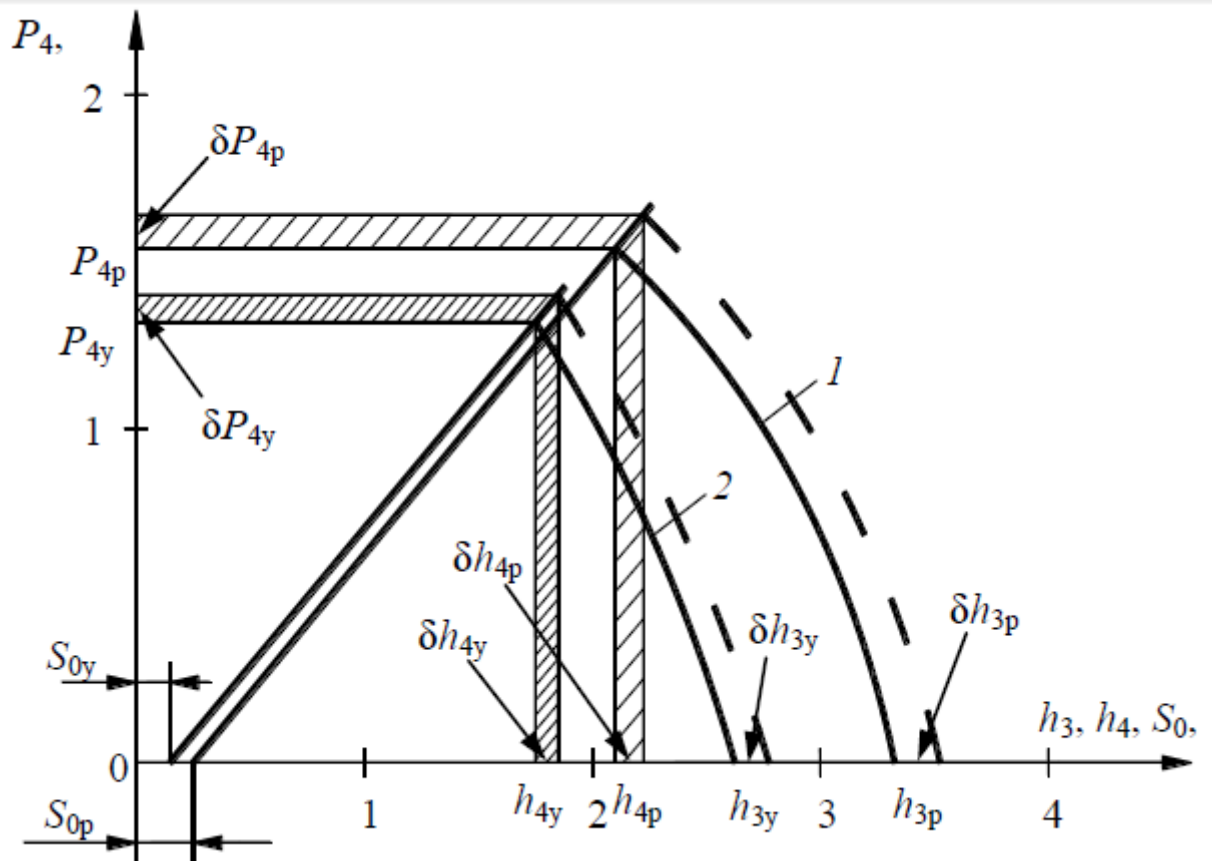


Рисунок 2.5 – Зіставлення поздовжніх різнотовщинності штаби на виході з 3ї кліті НСХП 1680 при звичайній технології («р» - робочий режим) і при вдосконаленому режимі обтиснень («у»)

Процес зменшення коливань товщини штаби продовжується далі в 4-й кліті, в результаті на виході зі стану НСХП 1680 її поздовжня різнотовщинність зменшується вельми значно. На рис. 1.4 показані як приклад характерні діаграми змін по довжині штаби зусилля прокатки в найбільш навантаженої кліті № 2 при прокатці штаби 0,9x1000 мм по робочому і вдосконаленому режимам. У зв'язку з вібраційним фоном на

діаграмах зусилля фіксувалися у вигляді діапазонів значень, що вагаються. Як видно, фактичні коливання зусиль в результаті оптимізації режиму знизилися майже в 2 рази. Всі наведені дані свідчать про великі резерви підвищення ефективності технології та точності прокатки на сучасних безперервних широкоштабних станах гарячої прокатки.

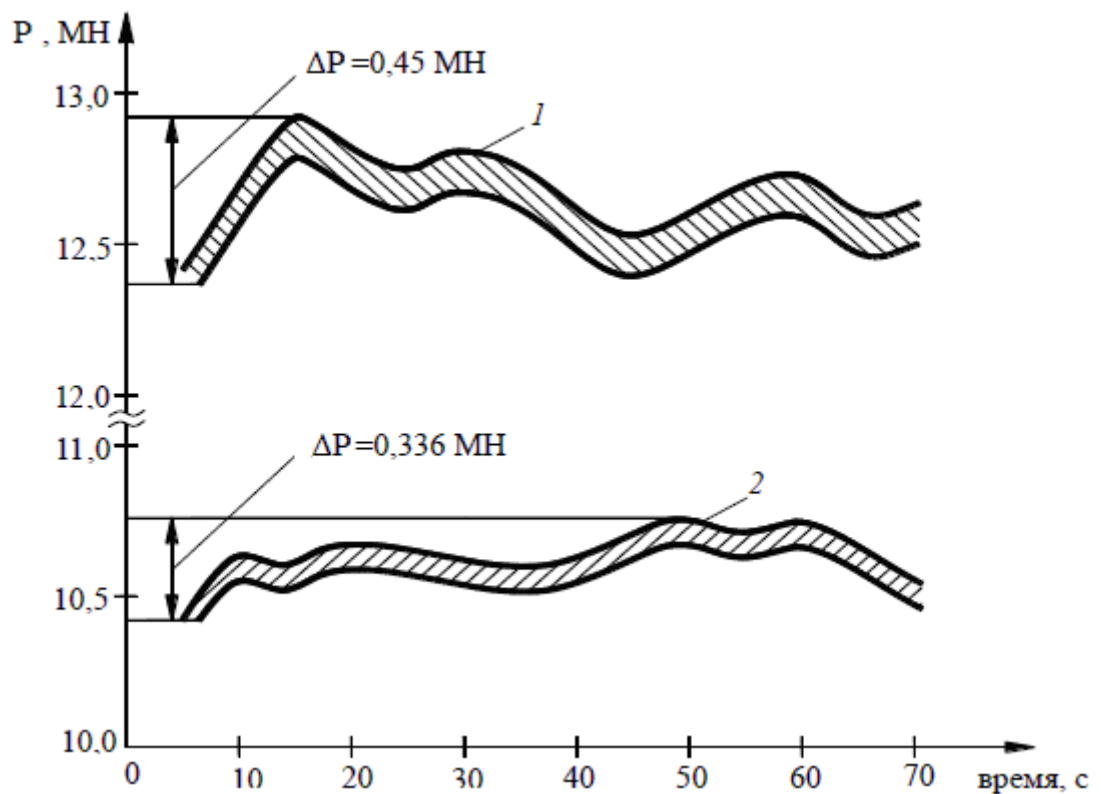


Рисунок 2.6 – Характерні діаграми записи змін зусилля прокатки в кліті №2 при прокатці однієї штаби по робочому (1) і вдосконаленому (2) режимам

Крім енергосилового розрахунку, потребують удосконалення методи технологічних розрахунків станів холодної прокатки, що дозволяють отримувати штаби з поздовжньою різнотовщинністю, що не перевищує 2,2% від номінальної товщини.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Конструкція та призначення механізмів пристроїв кліті

Робоча кліть реверсивного стана холодної прокатки 1200 (рис.3.1) складається із двох масивних станин закритого типу, що відливаються зі сталі 35Л, комплекту прокатних валків, натискного й пристрою, що врівноважує, і проводкового столу.

Станини вгорі й унизу з'єднані між собою за допомогою болтів і траверс. Між станинами встановлюють опорні й робочі валки з подушками.

Станини робочої кліті за допомогою спеціальних припливів закріплюють на плитовинах анкерними болтами [29].

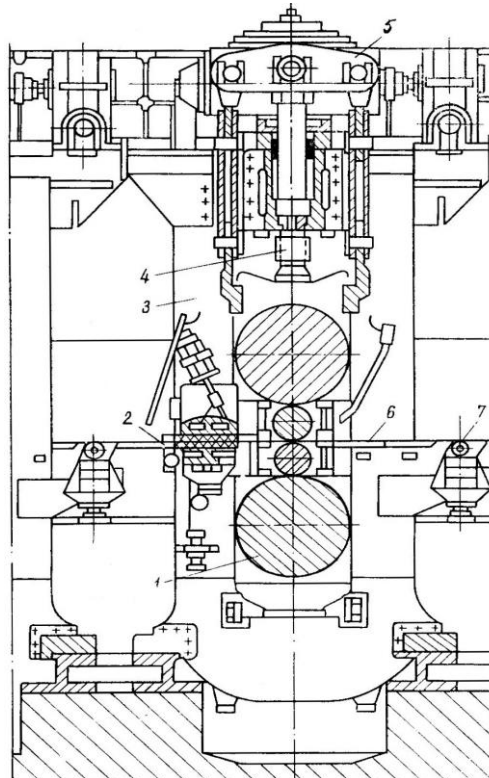


Рисунок 3.1 – Робоча кліть: 1 – опорні й робочі валки з подушками; 2 – проводковий стіл; 3 – станина робочої кліті; 4 – натискний гвинт; 5 – пристрій, що врівноважує; 6 – проводка; 7 – натяжний ролик.

Для холодної прокатки використовують чотирьохвалкові кліті, які мають значну твердість і забезпечують висока якість прокату. Діаметр валка вибирають за результатами розрахунків на міцність і величин контактних напруг. Довжина бочки обумовлена шириною штаби і необхідною твердістю проти вигину. Діаметр робочих валків реверсивного стана 1200 становить 485–500 мм, опорних – 1220-1340 мм. Станина виготовлена зі сталі, що має допустиме напруження $[\sigma] = 750 \text{ Н/мм}^2$ [29].

Для установки валків і регулювання зазору між ними у верхній частині робочої кліті передбачений натискний пристрій (рис. 3.2).

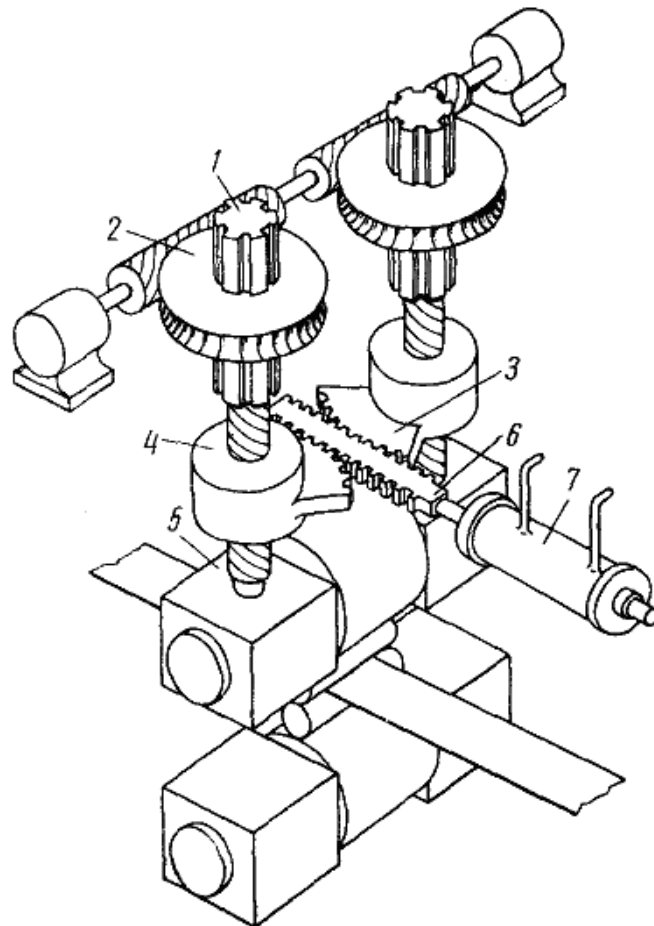


Рисунок 3.2 – Електрогідрравлічний натискний пристрій: 1 – натискний гвинт; 2 – черв'ячний редуктор; 3 – зубчастий сектор; 4 – гайка натискного гвинта; 5 – подушка опорного валка; 6 – зубчаста рейка; 7 – гідроциліндр

Останнім часом розроблена електрогідравлічна система приводу натискного пристрою, що має меншу інерцію в порівнянні з гідравлічним натискним пристроєм.

В електрогідравлічному натискному пристрої застосували поряд із приводом від електродвигуна привід від гідравлічного циліндра. Електродвигун включають для установки розчину валків; товщину штаби регулюють поворотом гайки натискного гвинта за допомогою гідравлічного циліндра. Система з гідроциліндром має швидку реакцію [17].

3.2 Розрахунок на міцність і деформацію валків

Встановимо розрахункову схему валкового вузла (рис. 3.3). Розрахунок ведемо по методу А.А.Корольова [29]. З розрахунку енергосилових параметрів у спеціальній частині дипломного проекту встановлено, що $P_{\max} = 13,72$ МН, $M_{\text{кр}} = 0,043$ МН·м. Визначаємо розподіл зусилля між робочими й опорними валками з огляду на мінімальний діаметр після переточування: $D_p = 300$ мм, $D_{\text{оп}} = 1215$ мм, $d_{\text{шр}} = 220$ мм, $d_{\text{ш.оп}} = 729$ мм.

Визначаємо розподіл зусилля між робочими й опорними валками:

$$\left(\frac{D_{\text{оп}}}{D_p}\right)^4 = \left(\frac{1,215}{0,3}\right)^4 = 269;$$

$$P_p = 13,72 \cdot \frac{1}{1+269} = 0,05 \text{ МН};$$

$$P_{\text{оп}} = 13,72 - 0,05 = 13,22 \text{ МН}.$$

Таким чином, робочі валки сприймають тільки $\frac{0,05}{13,72} \cdot 100 = 0,36\%$ від загального тиску на валки при прокатці.

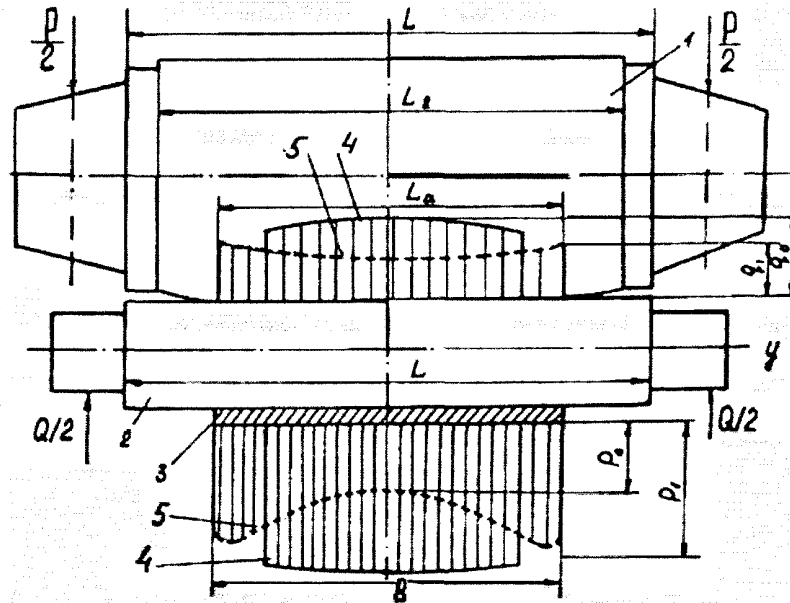


Рисунок 3.3 – Валки до розрахунку чотирьохвалкового стана: 1 – опорний валок; 2 – робочий валок; 3 – штаба; 4 – епюри при прокатці вузьких штаб; 5 – теж при прокатці широких штаб

Напряга робочого валка вигину:

$$M_p = \frac{P_p}{4} \left(a' - \frac{b}{2} \right), \quad (3.1)$$

Максимальна напряга вигину посередині бочки валка:

$$\sigma_p = \frac{M_p}{0,1D_{BP \min}^3}, \quad (3.2)$$

Напряга крутіння в шийці приводного валка:

$$\tau_p = \frac{M_{кр}}{0,2D_{BP \min}^3}, \quad (3.3)$$

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

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{\text{в}p}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{в}p}^2}, \quad (3.4)$$

Визначимо максимальний згинальний момент посередині бочки по формулі (3.1):

$$M_p = \frac{0,05}{4} \cdot \left(2,24 - \frac{1,03}{2} \right) = 0,022 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Визначимо максимальна напруга вигину з виразу (3.2):

$$\sigma_p = \frac{0,022}{0,1 \cdot 0,3^3} = 8,15 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Напруга кручення в шийці приводного валка визначимо з вираження (3.3):

$$\tau_{\text{в}p} = \frac{0,043}{0,2 \cdot 0,3^3} = 7,96 \text{ Н} / \text{мм}^2;$$

Еквівалентна напруга по формулі (3.5):

$$\sigma_a = \sqrt{8,15^2 + 3 \cdot 7,96^2} = 16 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Напруга в шийці робочого валка вигину:

$$\sigma_{pш} = \frac{P_p l_{pш}}{0,4 d_{pш}^3}, \quad (3.5)$$

Напруга крутіння в шейку робочого валка:

$$\tau_{pш} = \frac{M_{кр} \psi}{0,2d_{pш}^3}, \quad (3.6)$$

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

$$n_{pб} = \frac{\sigma_6}{\sigma_{eб}}, \quad (3.7)$$

Напруга в шийці робочого валка вигину знаходимо з виразу (3.5):

$$\sigma_{pш} = \frac{0,05 \cdot 0,85}{0,4 \cdot 0,22^3} = 10H / мм^2.$$

Напруги крутіння в шийці валка по формулі (3.6):

$$\tau_{pш} = \frac{0,043 \cdot 0,23}{0,2 \cdot 0,22^3} = 4,64H / мм^2.$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_e = \sqrt{10^2 + 3 \cdot 4,64^2} = 12,83H / мм^2.$$

Запас міцності бочки й шейки робочого валка з виразу (3.7):

$$n_{pш} = \frac{650}{12,83} = 51 \gg [n] = 5.$$

Опорні валки розраховуємо на міцність тільки по напругах вигину.

Момент і напруга вигину по середині бочки по:

$$M_{onB} = \frac{P_{on}}{4} \left(a - \frac{b}{2} \right), \quad (3.8)$$

$$\sigma_{onB} = \frac{M_{onB}}{0,1D_{onB \min}^3}, \quad (3.9)$$

Напруга в шийці: у перетині 2 – 2 по:

$$\sigma_{onw2} = \frac{P_{on} \cdot l_{uon}}{0,4(d_{uon} + r_{on})^3}, \quad (3.10)$$

у перетині 1 – 1:

$$\sigma_{onw1} = \frac{P_{on2} \left(\frac{l_{uon}}{2} - r \right) \psi}{0,1d_{uon}^3}, \quad (3.11)$$

Момент і напруга вигину по середині бочки визначаємо з формул (3.8) – (3.11):

$$M_{onB} = \frac{13,22}{4} \left(2,24 - \frac{1,03}{2} \right) = 5,7 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_{onB} = \frac{5,7}{0,1 \cdot 1,215^3} = 31,78 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Напруга в шийці:

Перетин 2 – 2:

$$\sigma_{onw2} = \frac{13,22 \cdot 1,69}{0,4(0,729 + 0,13)^3} = 89,4 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Перетин 1 – 1:

$$\sigma_{\text{омул}} = \frac{\frac{13,22}{2} \left(\frac{1,69}{2} - 0,13 \right) \cdot 0,23}{0,1 \cdot 0,729^3} = 28,1 \text{ Н / мм}^2.$$

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

$$n_{\text{омул}} = \frac{\sigma_6}{\sigma_{\text{омул}}} = \frac{650}{89,4} = 7,3 > [n] = 5.$$

3.3 Розрахунок станини на міцність і визначення її твердості

Спочатку побудуємо нейтральну лінію станини минаючу через центр ваги основних розрахункових перетинів (рис 3.4) [29].

Перетин А–А верхньої поперечини. Знайдемо площу перетину:

$$F = F_1 - F_2 - F_3 = BH - b_1h_1 - b_2h_2, \text{ м}^2$$

$$F = 1,9 \cdot 1 - 0,76 \cdot 0,595 - 0,46 \cdot 0,405 = 1,35 \text{ м}^2.$$

Знайдемо статичний момент стиску щодо осі X–X:

$$S = F_1 \cdot H / 2 - F_2 h_2 / 2 - F_3 (h_1 + h_2 / 2), \text{ м}^2$$

$$S = 1,9 \cdot 1 / 2 - 0,452 \cdot 0,595 / 2 - 0,186 (0,595 + 0,405 / 2) = 0,71 \text{ м}^2.$$

Знаходимо ординату центра ваги;

$$Y = S / F = 0,71 / 1,35 = 0,52.$$

Знаходимо момент інерції щодо осі X –X, що проходить через центр ваги.

$$J_a = J_1 - J_2 - J_3, \text{ м}^4$$

$$J_1 = BH^3 / 12 + a^2 F = BH \cdot H^2 / 12 + BH (Y - H/2)^2$$

$$J_1 = 1,9 \left[1/12^2 + (0,52 - 1/2)^2 \right] = 0,167 \text{ м}^2.$$

$$J_2 = b_1 h_1 / 12 + a_1^2 F_1 = b_1 h_1 \left[H^2 / 12 + (yc - h_1 / 2)^2 \right]$$

$$J_2 = 0,452 \left[0,595^2 / 12 + (0,52 - 0,595 / 2)^2 \right] = 0,035 \text{ м}^2.$$

$$J_3 = b^2 h_2^3 + a_3^2 F_2 = b_1 h_2 \left[h_2^2 / 12 + (yc - h_2 / 2)^2 \right]$$

$$J_3 = 0,186 \left[0,405^2 / 12 + (0,52 - 0,405 / 2)^2 \right] = 0,021 \text{ м}^2.$$

Підставивши значення J_1, J_2, J_3 у формулу

$$J_a = 0,167 - 0,035 - 0,021 = 0,11 \text{ м}^4$$

Знаходимо мінімальний момент опору перетину

$$W_a = J_a / Y_c, \text{ м}^3$$

$$W_a = 0,11 / 0,52 = 0,21.$$

Перетин Б–Б, стійки станини.

Знаходимо площу перетину

$$F = H_1 B_1 = 0,62 \cdot 0,63 = 0,39 \text{ м}^2;$$

$$X_c = B_1 / 2 = 0,63 / 2 = 0,315 \text{ м};$$

$$J_2 = J_B = 0,63 \cdot 0,62 / 12^3 = 0,0125 \text{ м}^4;$$

$$W_B = J_B / X_c = 0,0125 / 0,315 = 0,397 \text{ м}^3;$$

Перетин Б–Б нижня поперечка

Знаходимо площу перетину:

$$F = B^{11} H^{11} = 0,62 \cdot 1,2 = 0,744 \text{ м}^2;$$

$$Y_c = H^{11} / 2 = 1,2 / 2 = 0,6 \text{ м};$$

$$J_B = B^{11} H^{11^3} / 12 = 0,62 \cdot 1,2 / 12^3 = 0,0892 \text{ м}^4 ;$$

$$W_B = B^{11} H^{11^3} / 6 = 0,62 \cdot 1,2 / 6^2 = 0,148 \text{ м}^3 .$$

Знаходимо статистично невизначений момент у кутах рампи.

$$K_1 = J_1 / J_2 = J_B / J_B = 0,0892 / 0,02 = 4,46.$$

Для одержання найбільшого значення M_o беремо $J_A = J_B$ для нижньої поперечини, тому що $J_B = J_A$

$$K_2 = l_2 / l_1 = (H_c + Y_{c1} + Y_{c3}) / (B_c + 2 \cdot X_c)$$

де, H_c, B_c – відповідно висота й ширина вікна станини.

$$K_2 = (4800 + 5200 + 600) / (360 + 2 \cdot 315) = 2,97$$

$$M_1 = Y_1 / 4 = 15,48 \cdot 1,9 / 4 = 7,4 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_o = M_1 \cdot 1/2(1 + K_1 K_2) = 6,96 \cdot 1/2(1 + 4,46 \cdot 2,97) = 0,24 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$K_3 = J_1 / J_B = 0,0892 / 0,067 = 1,33$$

$$K_4 = J / l_1 = 0,6 / 1,9 = 0,3$$

$$M_o = M_1 \cdot 1 + 4 \cdot K_n(1,15 \cdot K_3 K_4 + 1) / 2(1 + K_1 K_2 + 3,14 \cdot K_3 K_4)$$

$$M_o = 7,4 \cdot 1 + 4 \cdot 0,3(1,15 \cdot 1,33 \cdot 0,3 + 1) / 2(1 + 4,46 \cdot 2,97 + 3,14 \cdot 1,33 \cdot 0,3) = 0,617 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Згинальний момент у поперечці

$$M_n = M_1 - M_o = 7,4 - 0,617 = 6,783 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напруга вигину в середині поперечки А–А

$$G_A = M_n / W_A = 6,783 \cdot 10^9 / 0,21 \cdot 10^9 = 32,3 \text{ Н/мм}^2 .$$

Поперечка В

$$G_B = 6,783 \cdot 10^9 / 0,148 \cdot 10^9 = 45,8 \text{ Н/мм}^2.$$

Напруга розтягання в стійці поперечки (Б–Б)

$$G_B = M_o/M_{\sigma} + Y/2F_2 = 0,617 \cdot 10^9 / 0,397 \cdot 10^9 + 14 \cdot 10 / 2^6 \cdot 0,39 \cdot 10^6 = 19,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Станина виготовлена зі сталі марки 35ЛН і після відпалу має $\sigma_B = 500 \text{ Н/мм}^2$

Запас міцності

$$n = \sigma_B / \sigma_{\max} = 500 / 45,8 = 10,92.$$

з урахуванням наявності концентрації напруг у розточенні під натискну гайку, приймаємо коефіцієнт концентрації $K = 2,8$, запас по утомі міцності дорівнює

$$n_f = 1/2K = \sigma_B / \sigma_A = 1/2 \cdot 2,8 \cdot 500 / 32,3 = 2,17 > [n_f] = 1,5$$

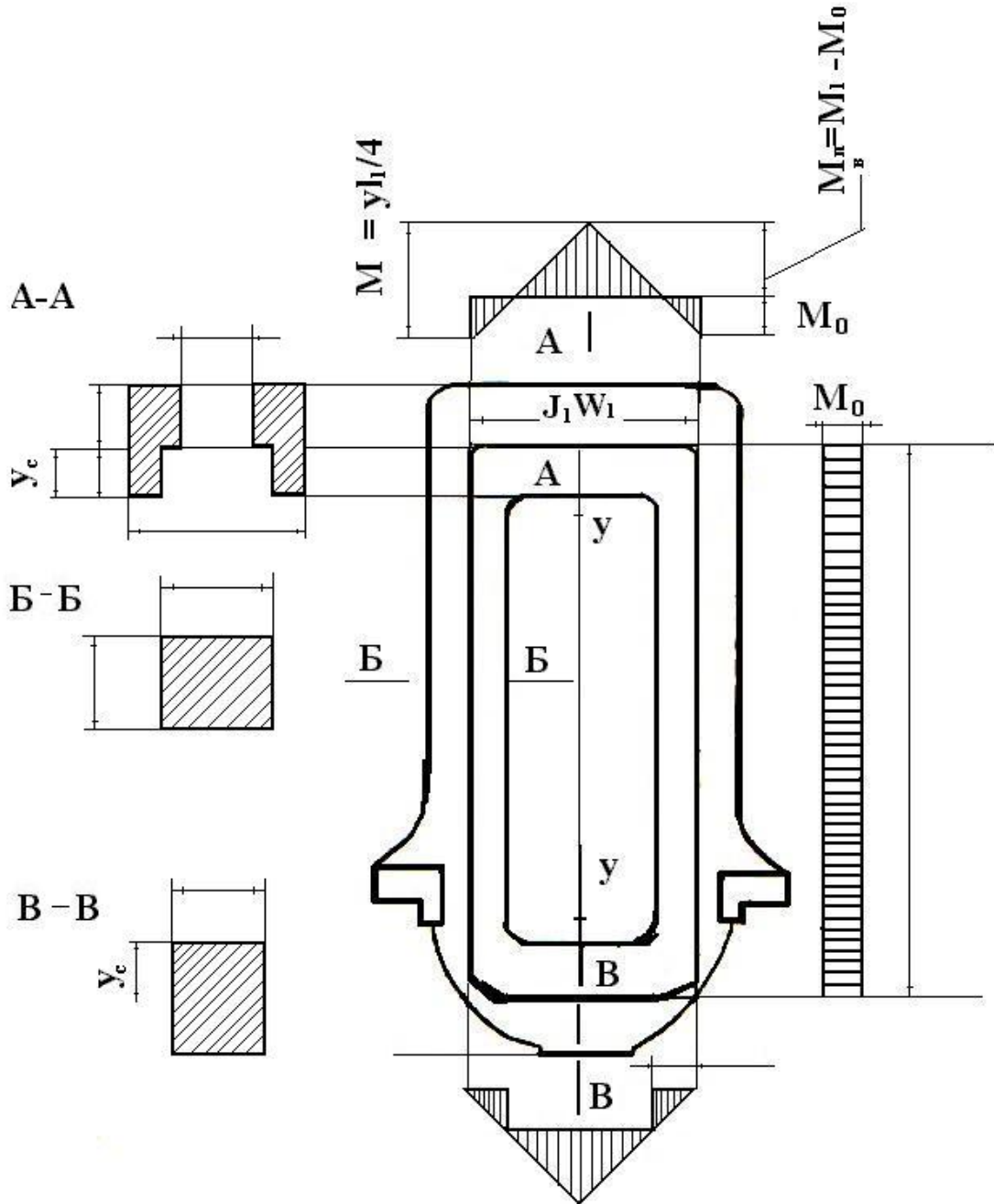


Рисунок 3.4 – Станина робочої кліті

Деформація станини у вертикальному напрямку

Приймаємо $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$

а) відстань кожної стійки силою $Y/2$

$$f_1 = Y l_2 / 2EF_2 = 15,48 \cdot 10^6 \cdot 4100 / 2 \cdot 2,2 \cdot 10^5 \cdot 0,452 \cdot 10^6 = 0,33 \text{ мм}$$

б) прогин двох поперечок

$$f_2 = l_1^2 / 4EJ_1 (Y l_1 / G - M_0)$$

$$f_2 = 1360^2 / 4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,11 \cdot 10^{12} \cdot (15,48 \cdot 10^6 \cdot 1360 / 6 - 0,617 \cdot 10^9) = 0,051 \text{ мм}$$

в) деформація двох поперечок від дії поперечки сил при $\sigma = 0,75 \text{ Н/мм}^2$

$$f_3 = 1,2 \cdot Y l_1 / 2GF_1$$

$$f_3 = 1,2 \cdot 15,48 \cdot 10^6 \cdot 1360 / 2 \cdot 0,75 \cdot 10^5 \cdot 1,995 \cdot 10^6 = 0,076 \text{ мм}$$

$$f_{\text{ст}} = 0,33 + 0,051 + 0,076 = 0,45 \text{ мм}$$

3.4 Розрахунок на міцність натискного гвинта та гайки

Натискний гвинт має завзяте різьблення УП 440 x 48мм, $d = d - 1,75 = 358 \text{ мм}$, середній $d_2 = d - 0,755 = 440 - 0,75 \cdot 48 = 440 \text{ мм}$, $L = 2^0 \cdot 10^1$ [29].

Напруження стиску в перетині нижнього опорного гвинта, що має $d_n = 350$

$$\sigma_{\text{ст}} = 4Y / \pi d_n^2, \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{ст}} = 4 \cdot 15,48 \cdot 10^6 / 3,14 \cdot 350^2 = 161 \text{ Н/мм}^2.$$

Матеріал гвинта сталь 40ХН. Натискна гайка висотою $H = 460 \text{ мм}$ і зовнішнім діаметром $D = 670 \text{ мм}$, кількість витків:

$$\Gamma = H / S = 460 / 48 = 10.$$

а) напруга стиску між витками гвинта й гайки

$$\sigma_{\text{см}} = 4Y / \pi(d^2 - d_1^2)2, \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{см}} = 4 \cdot 15,48 \cdot 10^6 / 3,14 \cdot (440^2 - 358^2) = 34,1$$

$$\sigma_{\text{см}} = 34,1 \ll [G] \approx 80$$

Напряга зняття по площі зіткнення гайки зі станиною.

$$\sigma_{\text{см}} = 4Y / \pi(D^2 - d_{\text{отв}}^2), \text{ Н/мм}^2$$

$$G_{\text{см}} = 4 \cdot 15,48 \cdot 10^6 / 3,14 \cdot (670^2 - 440^2) = 77,2 \text{ Н/мм}^2 \approx [\sigma] \approx 80$$

Матеріал гайки БРАЖ9 – 41 $[\sigma] \approx 80 \text{ Н/мм}^2$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих процесів виробництва

Прокатне виробництво характеризується складністю і розмаїтістю механічного устаткування, що має високу продуктивність. Унаслідок цього обробка металу відбувається з високими швидкостями й у великих кількостях. Холодну прокатку на стані 1680 можна віднести до 3-4 класу, робити як стосовну до металургійних підприємств без гарячих цехів і процесу металообробки [30].

Технологічний процес прокатки в умовах цеху жерсті і ЦХП-1 відноситься до 2 групи процесів, що протікають в умовах з напруженою фізичною роботою і виділенням пилу і пар олій.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу стану в ЦХП-1 широко застосовується механізація й автоматизація виробничого процесу.

У процесі холодної прокатки тонкого листа виникають різні небезпечні (метал рухається, обертаються частини механізмів стану й ін.) і шкідливі фактори, зв'язані з умовами прокатки (використання металу після травлення, застосування мастильних рідин і ін.)

Перелік цих шкідливих і небезпечних виробничих факторів приведений у таблиці 8.2. Відповідно до санітарно-гігієнічної класифікації слюсар має право на молоко і додаткову відпустку - 7 днів.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу слюсар-механіка [30]

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ ? небезпеки 1 клас небезпеки 2 клас небезпеки 3 - 4 класи (SO ₂ - сірчистий ангідрид)	- - 5	- - 12,3	- - 2,46	- - -	- - -	- - 80
2.	Пил, переважно фиброгенної дії, мг/м ³	4	10	-	2,5	-	85
3.	Вібрація (загальна і локальна), дБ	-	-	-	-	-	-
4.	Шум, дБ	80	94	-	14	-	-
5	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, в/м - діапазон промислової частоти, в/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ³	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
6	Мікроклімат у приміщенні в теплий період року: - температура повітря, ° С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	18-27 0,2-0,4 40-60 -	23 0,27 55 -	- - - -	- - - -	- - - -	100 -
7	Атмосферний тиск	760	760	760			100
8	Вага і напруженість праці	2	2	2			100

Роботи на стані зв'язані з поруч шкідливих і виробничих факторів. На ділянці прокатного стану - це, такі як шум при роботі клітей, а також при змотуванні штаб на моталках.

Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки в уші, беруши і протишумні навушники [31].

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничого середовища і робочих місць приведені в таблиці 4.2

4.2 Технологічні рішення з виробничої санітарії

Об'ємно-планові рішення будинків і споруджень

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

Рівень ґрунтових вод на площадці повинний бути нижче рівня підлоги підземних споруджень цеху. Щодо житлового селища завод розташовують з підвітряної сторони до вітрів переважного напрямку. Аналогічно розташовують спорудження цехів зі шкідливими виділеннями стосовно інших споруджень.

Між житловою зоною і заводами передбачається санітарна зона, розміри, який залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шуму, вібрації й інших шкідливих факторів.

Передбачають міри, що зменшують їхній несприятливий вплив на навколишнє середовище й забезпечують дотримання вимог у відношенні шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, робочої зони приміщень [31].

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

№ п\п	Небезпечні чи шкідливі фактори.	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
1	2	3	4	5
1.	Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки, засоби СІЗ	Звукопоглинання й огороження, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму в приміщенні оператора на робочому місці
2.	Парові розподіли токсичної дії	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний відсос пар олій, що утворилися	Над станом
3.	Небезпечний рівень і напруга	1) Ізоляція й огороження струмоведучих частин 2) Заземлення, занулення, блокування 3) запобіжники плавкі, дистанційні, магнітні пускачі	Захист від дотику до струмоведучих частин Захист від дотику до металевих частин устаткування Захист від високих рівнів струму, керування двигунами на відстані.	Навколо струмоведучих частин Біля корпусів електродвигунів На пультах керування. У ел. схемах і лінії приводу.
4.	Частини механізмів, що рухаються	Запобіжні пристрої, сітки, кожухи	Відключення і розривши ланцюга при перевантаженнях. Захист від зіткнення з частинами, що рухаються.	Навколо устаткування
1	2	3	4	5
5	Метал, що переміщається	1)Огороження і розмітка небезпечної зони 2)Засобу звукової і світлової сигналізації 3)Знаки безпеки	Захист від травм при падінні металу і його переміщенні	-На території небезпечної зони - На мостовому крані На огороженні небезпечної зони
6	Пальні речовини	Герметизація і витяжна вентиляція	Захист від опіків при пожежі	Над місцем утворення пар і витоків

Для металургійного заводу ширина санітарно-захисної зони визначається обсягом випуску сталі. Якщо останній складає більш 1 млн.

тонн у рік, ширину зони приймають 1000м. Таким чином, ширина захисної зони навколо комбінату "Запоріжсталь" складає 1000м. Відповідно до санітарної класифікації його відносять до першого типу виробництва. Обсяг виробничих приміщень на один робітника повинний складати не менш 15м³, площа приміщень - не менш 4,5м², фактичний обсяг-16,3м³, а площа-4,6м²на один працюючого [31].

Опалення та вентиляція

Характер роботи в цеху холодної прокатки не зв'язаний з надлишковими тепловиділеннями. Тому основні труднощі підтримки необхідного мікроклімату пов'язані: узимку й у перехідній період року з необхідністю опалення в приміщенні цеху, створення повітряних завіс на залізничних і автомобільних в'їздах у виробничий будинок, остеклювання ліхтарів і світлових прорізів. У літній період, особливо в жаркі місяця року, необхідно забезпечувати приплив охолодженого повітря природною чи механічною вентиляцією [31].

Освітлення

В приміщенні прокатного цеху передбачене природне і штучне висвітлення. Природне висвітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в причілках і ліхтарі (комбіноване висвітлення).

Згідно СНіП II-4-79 роботи, виконувані робочим персоналом при холодної прокатки, відносять до 3 розряду зорових робіт, коефіцієнт природної освітленості (КПО) дорівнює 7% [32].

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного висвітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи (люмінесцентні ЛУБ - 80, ртутні високого тиски з виправленою кольоровістю ДРИ-400). Типи світильників вибирають у залежності від умов їхньої роботи і вимог до якості висвітлення.

У прокатному цеху для загального висвітлення застосовують світильники прямого світла типу "Універсаль" для місцевого - світильники типу "Альфа". У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального висвітлення складає 150лк і менш, норму освітленості збільшують на один розряд.

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

Найменша освітленість робочих поверхонь потребуючих обслуговування при аварійних режимах складає 5% освітленості, нормованої для загального робочого висвітлення, але не менш 2лк. Аварійне висвітлення для евакуації персоналу проходів і сходинок сход не менш 0,5лк [32].

Прийняті значення освітленості вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 –Прийняті значення освітленості

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

Санітарно-побутові приміщення

Контору цеху, гардеробні, медпункт, їдальні, душові, умивальники і туалети розташовують уздовж торцевої стінки цеху у виді прибудови. Ширина прибудови дорівнює 9м. Будівля побутових приміщень триповерхове без підвалів. Висота поверхів 3 м. Відношення площі вікон до

площі підлоги складає 1:6-1:9, що забезпечує достатню освітленість приміщень.

Площі адміністративно-конторських приміщень приймають наступних розмірів: для робочих кімнат контор 3,25м² на один працюючого, для конструкторського бюро 5м на один стіл, для залів нарад місткістю до 100 чоловік по 0,9м² на кожне місце, що відповідає нормам.

Робочий і чистий одяг зберігається в закритих одинарних шафах розміром 50x25 см. Висота шаф 1,65м. Ширина проходів між шафами не менш 1м [32].

Душові кабінки мають розмір 0,9 х 0,9м, ширина проходів між рядами кабінки не менш 1,м, між кабінками і стіною не менш 0,9м.

Площа душових складає 6,8м² на одну душову установку, на одну душову сітку приходиться 5 чоловік (при нормі 6).

4.3 Заходи техніки безпеки

На ділянці стану основними потенційно небезпечними виробничими факторами є: пересування електромостових кранів і транспортерного візка з чи вантажем без нього, що обертаються частини механізмів кліти, рух штаби і листів по лінії стану, пересування рулонів по конвеєрах.

Пересування по території стану дозволяється тільки по встановлених переходах, перехідним місткам. При чи пересуванні виконанні робіт працюючі повинні бути уважні до сигналів електромостових кранів, до роботи світлової сигналізації, не знаходитися під піднятим вантажем і на шляху руху передатних візків [31, 32].

Працюючому на стані необхідно: прийняти і здати зміну на робочому місці і докласти старшому майстру, працювати в чистій, виправленій і правильно одягненому спецодязі і спец. взуття, покладеної по нормах для кожної професії. Користатися відповідними засобами захисту і запобіжних пристосувань, виконувати доручену роботу з дотриманням усіх вимог

інструкцій з техніки безпеки і промислової санітарії, виконувати вказівки бригадира і майстра, виконувати вимоги попереджувальних написів і плакатів ТБ. Не приступати до роботи, якщо умови її виконання суперечать інструкції з техніки безпеки чи іншому документу, що регламентує безпечне ведення робіт, а також без інструктажу з техніки безпеки при тимчасовому перекладі на іншу роботу. Під час роботи бути уважним, не відволікатися і не відволікати інших, не допускати на робоче місце облич, що не має відносини до роботи, виконувати правила пожежної безпеки, промислової санітарії й особистої гігієни, не залишатися байдужим до порушень інструкцій іншими робітниками - цим кожний охоронить себе й інших від нещасливих випадків.

При одержанні навіть незначної травми негайно звернутися в медпункт і сповістити про це майстру, а при його відсутності - бригадиру, старшому чи робітнику товаришу по роботі, надати першу допомогу потерпілому.

При виявленні порушень, що можуть привести до чи аварій нещасливим випадкам, негайно припинити роботу і сповістити про це чи майстру бригадиру.

Працюючим на стані забороняється:

- працювати на механізмах, що не має огороження обертових частин;
- обслуговувати на ходу і доторкатися до обертового частинам механізмів, заходити за огороження частин механізмів, що рухаються;
- доторкатися до електропроводів, рубильникам і моторам щоб уникнути поразки електричним струмом;
- виконувати роботу в місцях, де немає габариту.

4.4 Електробезпека

Широке використання електричного струму для найрізноманітніших цілей додає питанням захисту від його впливу на людський організм важливе значення.

Електробезпека - це комплекс мір, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом.

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

У металургійних цехах вага поразки збільшується, тому що, спостерігається середовище з підвищеною температурою, що веде до перегріву організму і зниженню його опору. Зниження атмосферного збільшує небезпека впливу електричного струму. При збільшенні змісту вуглекислого газу в повітрі чутливість організму до впливу струму збільшується.

Стан навколишньої повітряного середовища, а також навколишнє оточення можуть чи підсилювати послабляти небезпеку поразки струмом. Так струмопровідний пил, що утвориться в цеху, діє на ізоляцію електроустановок, різко знижуючи її опір і створюючи погрозу переходу напруги на корпуси, станини, і тому подібні не струмоведучі металеві частини електроустаткування, до яких може доторкатися людина.

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

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

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5.9\text{A}$, напруги відповідно $U = 220, 380\text{В}$.

Вибір роду струму, величини напругою і струму електроприводів виробляються по основним техніко-економічних показникам.

При цьому враховуються будівельні витрати, первісна вартість устаткування, витрати на експлуатацію і ремонт, ступінь виконання необхідних умов пуску, гальмування реверса, глибини і плавності регулювання швидкості чи обертання інших параметрів надійності системи і простоти обслуговування, ККД, а також вимог зв'язаних з виконанням технологічного процесу.

Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

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

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

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

Заходи захисту від поразки електричним струмом

Існують наступні заходи захисту від поразки електричним струмом:

а) захист від дотику до струмоведучих частин;

б) захист від дотику до устаткування, що випадково знаходиться під напругою;

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

У першому випадку, найбільш розповсюдженому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є захисне заземлення. Захисні функції пристрою, що заземлює, складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, що знаходяться випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпеку поразки доторкнувшогося до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до нульового проводу, що заземлює; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення - перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проводами, викликати тим самим протікання більшого струму через захист і швидко відключити ушкоджене устаткування від мережі.

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

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

підставки й ін. Для забезпечення безпечної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно поряд зі зробленим їхнім оснащенням засобами захисту так організувати їхню експлуатацію, щоб була виключена всяка можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

Вибір схеми мережі

Систематично повинні проводитися огляди електроустановок. У деяких випадках (у випадках необхідності) виробляються переключення в електроустановках.

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

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпровідна мережа глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використовувати два робітників напруги - лінійне і фазне. Від чотирьохпровідної мережі 380В можна жити як силове навантаження - трифазну чи однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380В, струм і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим проводами, тобто на фазну напругу 220В.

4.5 Пожежна та техногенна безпеки

До числа заходів для попередження пожеж і обмеженню поширення вогню відносять:

1. Правильний вибір ступеня вогнестійкості будівель і межі вогнестійкості, окремих його елементів;
2. Прийняття відповідно до норм величин площі між протипожежними перешкодами;
3. Дотримання протипожежних розривів між будинками.

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

Швидка локалізація і гасіння пожеж досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежного впливу, під'їздів і доріг до будинків.

Прокатний цех відноситься до категорій В и Г, пожежонебезпеки (ДСТ 12.1004-81), тому що в ньому обробляють неспалені речовини (метал), але є пальні масла. По вогнестійкості прокатний цех відносять до I та II ступенів. Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 у залежності від категорії вибухонебезпечності виробництва, площі і висоти будинку. Необхідний ступінь вогнестійкості суспільних будинків визначається СНіП 2.08.01-85 у залежності від площі і числа поверхів будинку.

Будівельні матеріали і конструкції по займистості поділяють на три групи: неспалені, важкоспалені і спаленні. Протипожежні стіни в цеху є неспаленими.

Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи, що ведуть з першого поверху назовні, у коридор, вестибюль. Їхнє число повинне бути не менш двох і розташовані в протилежних місцях будинку.

Найбільша відстань, що допускається, від найбільш вилученого робочого місця до евакуаційного виходу для виробництва з категорією пожежонебезпеки Г і I та II ступенем вогнестійкості не нормується. Ширина шляхів евакуації визначається з розрахунку 0,6м на 100 чоловік. Ширина проходів дорівнює 1м, ширина коридорів не менш 1,4м. Ширина двору складає від 0,8 до 2,4м. Марші і площадки сход відповідно рівні 1,75 і 2,4м.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: воду, інертні гази, хімічну, повітряно-механічну піни, тверду вуглекислоту, пісок, (вогнегасники типу ОХП-5, ВВ-10).

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для одержання, збереження і подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні і штучні водойми). Витрата води на зовнішнє пожежогасіння через гідрант для прокатного цеху категорії Г при обсязі будинку 2000- 4000м³ складає 10 л/с. У виробничих будинках I та II ступенів вогнестійкості категорії Г внутрішнє протипожежне водопостачання не передбачають.

4.6 Розрахунок повітряної завіси цехових воріт

Інженерна розробка повітряної завіси цехових воріт. Повітряна завіса являє собою плоский струмінь повітря, що направляється зі спеціальної насадки під деяким кутом до площини прорізу з однієї чи двох сторін. У прорізів воріт виробничих приміщень повітряна завіса встановлюється з метою зменшення надходження зовнішнього повітря, а в прорізів технологічного устаткування для запобігання надходження вредностей у приміщення. Повітряні завіси необхідно встановлювати:

а) У різного роду прорізів (воріт, двір) опалювальних приміщень при розрахунковій температурі холодного періоду року мінус 15°C и нижче при відсутності можливості пристрою шлюзів і тамбурів ;

б) у воріт, що відкриваються частіше п'яти чи разів не менш, ніж на 40 хвилин у зміну;

в) у зовнішніх дверях приміщень будь-якого призначення кондиціонуванням повітря;

г) у тамбурах і шлюзах виробничих приміщень зі значним виділенням чи вологи при розташуванні постійних робочих місць поблизу зовнішніх дверей.

Швидкість виходу повітря з щілин повітряних завіс не повинна перевищувати: у зовнішніх дверях - 8м/с, у воріт і технологічних прорізів - 25м/с. Температура повітря, що підігрівається повітряними завісами, рекомендується приймати не більш 50°C для зовнішніх дверей і 70°C для воріт і технологічних прорізів. При цьому температура повітря на постійних робочих місцях повинна бути не більш 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C - при роботі середньої ваги і 8°C - при важкій роботі. При відсутності постійних робочих місць поблизу воріт, дверей, технологічних прорізів допускається зниження температури повітря в цій зоні при їхньому відкриванні до 5°C.

У залежності від напрямку струменя, повітряні завіси можуть бути з нижньою подачею (рисунок 4.1, а), бічний з однієї сторони (рисунок 4.1, б) і з двох сторін (рисунок 4.1, в).

Завіси з нижньою подачею рекомендується до застосування, коли неприпустиме зниження температури в приміщенні поблизу прорізів. Схема на малюнку б, застосовується для прорізів невеликої ширини, схема на малюнку в, за умови відсутності шкідливих пар і газів у повітрі верхньої зони.

Завіса розраховується без обліку вітрового тиску.

Кількість повітря, подаваного в сопла завіси, при відсутності в цеху механічного припливу і чи витяжки при їхньому балансі визначається по формулі:

$$C_{зав} = 1,42 \cdot \eta \cdot M_{пр} \cdot F_{пр} \sqrt{\Delta P \rho_{см}}, \quad (4.1)$$

де $\eta = G_{зав} / Q_{пр}$ - відношення витрати повітря, подаваного вентилятором у сопло завіси, до витрати повітря, що проходить через проріз;

$M_{пр} = 0,25$ - коефіцієнт витрати;

$F_{пр} = 20\text{м}^2$ - площа відкриваємого прорізу;

ΔP - різниця тисків повітря з зовні й усередині приміщень на рівні прорізу обладнаного завісою, визначається по формулі (4.5);

$\rho_{см}$ - площа маси повітря завіси і зовнішнього повітря при температурі, рівної нормованої, у районі воріт - $1,26\text{кг/м}^3$.

Розрахункова різниця тисків визначається по формулі:

$$\Delta P = h(\rho_n - \rho_b)g \quad (4.2)$$

де $h = 2,5\text{м}$ — відстань по вертикалі від центра прорізу до нейтральної зони;

$\rho_n = 1,29\text{кг/м}^3$ - щільність зовнішнього повітря при (-15°C);

$\rho_b = 1,26\text{кг/м}^3$ - площа повітря в приміщенні при температурі ($+14^\circ\text{C}$).

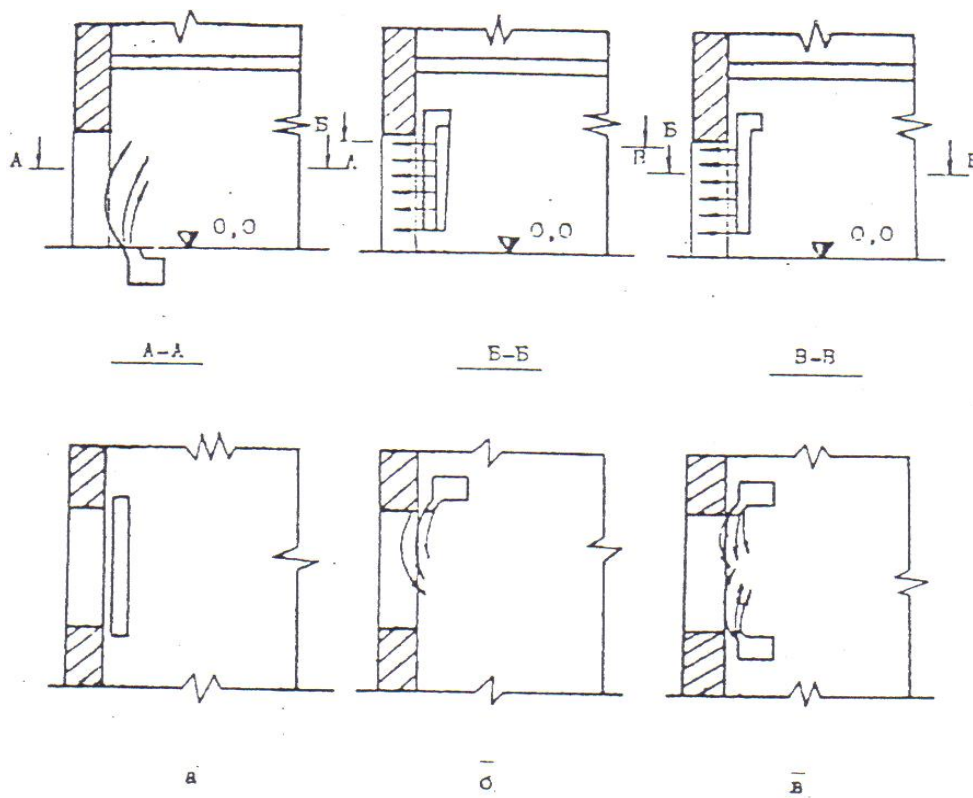


Рисунок 4.1 - Схема повітряних завіс: **а** - з нижньою подачею повітря; **б** - бічний з однієї сторони; **в** - бічна з двох сторін.

Підставивши числові значення одержимо:

$$\Delta P = 2,5(1,29 - 1,26) \cdot 0,65 = 0,048 \text{ Па}$$

Підставивши в (4.2) числові значення одержимо кількість повітря подаваного в сопла завіси:

$$G_{\text{зав.}} = 1,42 \cdot 0,65 \cdot 0,25 \cdot 20 \sqrt{0,048 \cdot 1,26} = 1,13 \text{ кг/с}$$

Температура повітря, подаваного в сопла завіси, визначається по формулі:

$$t_{\text{зав.}} = \frac{t_{\text{с}} - t_{\text{н}}}{q \left(1 - \frac{Q}{Q_{\text{зза}}} \right)} + t_{\text{н}}, \quad (4.3)$$

де $t_{\text{нач}} = 14^\circ\text{C}$ - температура суміші повітря, що проходить через відкритий проріз;

$t_{\text{н}} = -15^\circ\text{C}$ - зовнішня температура для холодного періоду;

$\frac{Q}{Q_{\text{зза}}} = 0,125$ - відношення якості теплоти, подаваної з повітрям, що іде

через відкритий проріз назовні Q до теплової потужності завіси. Підставивши в (7.1) числові значення, одержимо:

$$t_{\text{зав.}} = \frac{14 + 15}{0,65(1 - 0,125)} - 15 = 40^\circ\text{C}$$

теплова потужність колориферів повітряної завіси визначається по формулі:

$$Q_{\text{зав.}} = G_{\text{зав.}}(t_{\text{зав.}} - t_{\text{нач}}), \quad (4.4)$$

де $t_{\text{нач}} = 14^{\circ}\text{C}$ - температура повітря, що забирається вентилятором на завісу.

Підставивши в (4.2) числові значення одержимо:

$$Q_{\text{зав}} = 1,13(40 - 14) = 29,38 \text{ кг} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{с}$$

Приймаємо ширину щілини $b = 0,15 \text{ м}$,

тоді $F_{\text{щ}} = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ м}^2$

Швидкість виходу повітря з щілини визначаємо по формулі:

$$V_{\text{щ}} = Q_{\text{зав}} / (n_{\text{щ}} \cdot H_{\text{щ}} \cdot \beta_{\text{зав}}), \quad (4.5)$$

де $n_{\text{щ}} = 2$ - число що роздають повітряводів,

$\beta_{\text{зав}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ – площа повітря, подаваного в завісу.

Підставивши в (4.3) числові значення одержимо:

$$V_{\text{щ}} = 1,137(2 \cdot 0,15 \cdot 5 \cdot 1,2) = 16,2 \text{ м}/\text{с}.$$

У розділі "Охорона праці" мною були проаналізовані шкідливі і небезпечні фактори, що впливають на людину, що присутні в процесі прокатки, а також існуючі міри захисту від вище перерахованих факторів. Забезпечення здорових і безпечних умов праці є однією з головних передумов підвищення продуктивності праці на виробництві.

ВИСНОВКИ

При вирішенні технічного завдання у роботі пропонується для підвищення якості профілю штаби модернізація технології прокатки за рахунок оптимізації режимів обтискань із зменшенням обтску в першій кліті. Перевагою застосування знижених обтискань в перших клітях неперервного стану є те, що ефект самовирівнювання різнотовщинності помітно виявляється лише тоді, коли деформаційне зміцнення металу порівняно невелике. Отже, зниження обтиску в перших клітях сприяє самовирівнюванню подовжньої різнотовщинності.

У розрахунковій частині наведений розрахунок режиму деформації штаби 0,9x1100 мм. Раціональний для конкретного НСХП режим деформації повною мірою визначається кількістю клітей, потужністю приводів, законом розподілу обтисків по клітях і наявністю систем регулювання міжвалкового зазору і контролю площинної штаби. Обтискання в останній кліті не може бути малим також тому, що з його величиною пов'язано якість регулювання товщини штаби на виході безперервного стану. При прокатці сталі на 0,9 мм відносний обтиск в четвертій кліті складає 23%. При 20%-ній допустимій зміні натягнення штаби регулятор зможе відпрацювати відносну різнотовщинність

Розрахунок на міцність робочих і опорних валків показали, що за даних умов навантаження (сила прокатки $P = 12,5$ МН, крутний момент $M = 159$ кН·м) запас міцності шийки опорного валка дорівнює 5,9..

ЛІТЕРАТУРА

1. *Николаев, В.А.* Технология прокатки полос и листов. Учебное пособие. В 2 –х частях. Часть I. Запорожье, ЗГИА, 2003. – 158 с.
2. *Николаев, В.А.* Валки прокатных станов.- Запорожье: ЗГИА,2002.- 176 с.
3. *Николаев, В.О.* Технологія виробництва сортового та листового прокату / Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. - Запоріжжя, видавництво ЗДІА, 2000. - Ч. II. - 220 с.
4. *Васильев, Я.Д.* Научные основы эффективных технологий производства тонкостенной длинномерной металлопродукции / Я.Д. Васильев, В.У. Григоренко, В.Н. Данченко. – Днепропетровск: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. – 353 с.
5. *Железнов, Ю.Д.* Прокатка ровных полос и листов / Ю.Д. Железнов. – М.: Металлургия, 1971. – 200 с.
6. *Васильев, Я.Д.* Производство полосовой и листовой стали / Я.Д. Васильев, А.М. Сафьян. – К.: Вища школа, 1976. – 192 с.
7. Управлением качеством тонколистового проката / В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю Приходько [и др.] – К.: Техника, 1997. – 384 с.
8. *Робертс, В.* Холодная прокатка стали / В. Робертс. – М.: Металлургия, 1982. – 544 с.
9. *Грудев, А.П.* Технология прокатного производства / А.П. Грудев. – М.: Арт-Бизнес-Центр, 1994. – 651 с.
10. *Рокотян, С. Е.* Теория прокатки и качество металла / С.Е. Рокотян. – М.: Металлургия, 1981. – 224 с.
11. Профилирование валков листовых станов / А.А. Будаква, Ю.В. Коновалов, К.Н. Ткалич и др. – К. Техніка. – 1986. – 190 с.
12. *Полухин, П.И.* Тонколистовая прокатка и служба валков / П.И. Полухин, Ю.Д. Железнов, В.П. Полухин. - М.: Металлургия, 1967. – 388 с.

13. Байков, Е.В. Исследование на непрерывном стане холодной прокатки продольной разнотолщинности полос / Е.В. Байков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - №1, 2008. – С. 102-105.

14. Агеев, Л.М. Управляющие воздействия на форму полосы при прокатке / Л.М. Агеев // Труды 4 Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16-19 окт., 2001. - Т. 1. - М., 2002. - С. 192-197.

15. Целиков А.И., Зюзин В.И., Современное развитие прокатных станов. – М.:Металлургия,1972.-399 с.

16. Байков, Е.В. Исследование технологии холодной прокатки полос на непрерывном стане с рассогласованием скоростей валков / Е.В. Байков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. - Краматорськ: ДДМА, 2007. - С. 424-427.

17. Новые методы моделирования процессов холодной прокатки, обеспечивающие улучшение качества холоднокатаных листов, экономию энергии и увеличение скорости непрерывных станов / Э. Гарбер, И. Кожевникова, А. Трайно, В. Кузнецов, С. Павлов // Весник Череповецкого государственного университета. - №3, 2009. – С. 108-111.

18. Назарова, Е.С. Исследование системі оптимального управления натяжением полосы стана холодной прокатки / Е.С. Назарова // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 3, 2012. – С. 161-162.

21. Расчет параметров листовой прокатки: справочник / Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л. [и др.] – М.: Metallurgiya, 1986. – 430 с.

22. Хензель, А. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: справочник. Пер. с нем. / А. Хензель, Т. Шпигель. – М.: Metallurgiya, 1982. – 360 с.

23. Василев, Я.Д. Теорія поздовжньої прокатки: підручник / Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.

24. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томлёнов, В.И. Зюзин [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 335с.

25. *Панасейко, С.П.* Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей / С.П. Панасейко, В.К. Тарасов, Ю.П. Павленко. – Запорожье: изд-во ЗГИА, 2002. – 56 с.

26. *Жидецкий, В.Ц.* Основы охраны труда / В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, А.В. Мельников. – Львов: Афиша, 2000. – 351 с.

27. *Бринза, В.Н.* Охрана труда. Охрана труда в черной металлургии / В.Н. Бринза, М.М. Зиньковский. – М.: Металлургия, 1982. – 336 с.