

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра металургії та інноваційних технологій

*«Допущено до захисту»*  
Гарант освітньої програми  
«Металургія чорних металів»

Христина МАЛІЙ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
за підсумками виконання освітньо-професійної програми  
«Металургія чорних металів»  
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Розробка технології прокатки особливо тонкого прокату на  
стані холодної прокатки 1680»**

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

Консультант  
від бази практики

Дмитро КОЛОМОЄЦЬ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Владислав СУТКОВИЙ

<i>Підсумкова оцінка за атестацію</i>			
---------------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя, 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»	
Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та інноваційних технологій</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Спеціальність	<u>G10 Металургія</u>
ОПП	<u>Металургія чорних металів</u>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми

Христина МАЛІЙ

«10» квітня 2026 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Сутковий Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: Розробка технології прокатки особливо тонкого прокату на стані холодної прокатки 1680

керівник роботи канд. техн. наук, доц. Малій Х.В.

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

затверджені наказом Університету від № 41/23.02.2026 від 23.02.2026

2. Термін подання роботи 20.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: матеріал – вуглецеві і леговані сталі, розміри – товщина 0,5-1 мм, ширина 1000-1500 мм, продуктивність по розміру 0,5x1000 мм – 500 тис.т.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Сучасні технології та обладнання для виробництва особливо тонких холоднокатаних смуг (стан питання) 2. Склад обладнання та технологія прокатки на стані 1680 3. Техніко-економічні показники виробництва та охорона праці в цеху холодної прокатки. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

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

1) План цеху холодної прокатки

2) Загальний вид стану холодної прокатки 1680

3) Складальні креслення вузлів та механізмів робочої кліти прокатного стану

4) Схема прокатки особливо тонких х/к смуг

5) Загальні види НТА, печей відпалу, робочих клітей стану

6) Технологічні режими прокатки

7) Розрахунки продуктивності стану

8) Математична модель процесу холодної прокатки

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В
2	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В
3	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В
4	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В
5	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В
6	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В
7	канд. техн. наук, доц. Малій Х.В

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Технологічна частина	11.05 – 13.06.2026
2	Спеціальна частина. Механічна частина	11.05 – 13.06.2026
3	Охорона праці та екологія	06 – 13.06.2026
4	Економічно-організаційна частина	06 – 13.06.2026
5	Оформлення пояснювальної записки	13 – 20.06.2026
6	Захист	за графіком

Здобувач

Владислав СУТКОВИЙ

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

## АНОТАЦІЯ

Сутковий В. О. Розробка технології прокатки особливо тонкого прокату на стані холодної прокатки 1680. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія чорних металів» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Пояснювальна записка містить 72 сторінки, 11 таблиць, 1 рисунок, 18 джерел та 8 додатків із технічними кресленнями.

Об'єкт дослідження - процес безперервної холодної прокатки листового металу.

Предмет дослідження – технологічні та енергосилові параметри процесу деформації особливо тонкої смуги на стані 1680.

Мета роботи – дослідження та розробка раціональної технології прокатки особливо тонкого прокату (на прикладі смуги 0,5x1000 мм зі сталі 08Ю) на безперервному 4-клітьовому стані холодної прокатки 1680.

Зміст роботи за розділами:

У першому розділі наведено характеристику вихідної заготовки (підкату) та вимоги до її геометричних параметрів і щільності змотування. Описано сортамент продукції чорних металів за групами сталей (включаючи низьковуглецеву сталь 08Ю) та деталізовано технічні вимоги до якості поверхні й форми готового холоднокатаного прокату.

У другому розділі проведено дослідження та комплексний аналіз технологічного процесу прокатки на стані 1680. Послідовно розглянуто операції подачі й підготовки металу на вхідній ділянці, підготовки самого стану, налаштування швидкісного режиму за законом сталості секундних об'ємів та розрахунку міжклітьового натягу. Також висвітлено технологію задачі смуги, особливості прокатки зварних швів, хвостових кінців та змотування готових рулонів.

У третьому розділі вивчено питання експлуатації валкової арматури як основного деформуючого інструменту. Розкрито принципи профілювання робочих та опорних валків залежно від ширини металу, вимоги до підготовки їхньої поверхні, нанесення мікрорельєфу (шорсткості) на сталеструминній машині, а також регламентовано тепловий режим і норми напрацювання в кілометрах при роботі з особливо тонким сортаментом. Окремо розглянуто

управління площинністю за допомогою системи гідравлічного противигину валків чистової кліті.

У четвертому розділі розглянуто технологію застосування змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР). Визначено базові компоненти й марки промислових емульсолів, оптимальну робочу концентрацію емульсії (2,5–2,7%) та чіткий регламент її коригування й заміни. Описано систему колекторного зрошення валків, вимоги щодо видалення залишків вологи за допомогою повітряного «відбійника» («повітряного ножа») перед змотуванням, а також заходи контролю витоків експлуатаційних мастил.

У п'ятому розділі описано систему маркування, паспортизації та обліку готової продукції в цеху холодної прокатки. Представлено методику оперативного контролю якості поверхні шляхом утворення «петлі» на моталці. Визначено алгоритми управління дефектами прокатного походження та попередніх переділів, а також висвітлено метрологічне забезпечення процесу із застосуванням ізотопного товщиноміра «РІУС ВТХ-03».

У шостому розділі представлено дослідницько-розрахункову частину проекту. Обґрунтовано вибір комплексної математичної моделі холодної прокатки з урахуванням деформаційного зміцнення металу та пружного сплющення робочих валків за методикою Хічкока. Алгоритмічним шляхом розраховано геометричні параметри осередку деформації, зусилля (8,2...9,9 МН) та моменти прокатки смуги 0,5x1000 мм зі сталі 08Ю по клітях, а також виконано аналіз впливу контактного тертя та оцінку годинної і річної продуктивності стану 1680.

У сьомому розділі висвітлено питання охорони праці та навколишнього середовища. Розглянуто заходи щодо забезпечення екологічної безпеки та охорони атмосферного повітря від викидів забруднюючих речовин.

**ХОЛОДНА ПРОКАТКА, СТАН 1680, ОСОБЛИВО ТОНКА СМУГА, РЕЖИМ ОБТИСНЕНЬ, ЗУСИЛЛЯ ПРОКАТКИ, ТЕХНОЛОГІЧНА ЕМУЛЬСІЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКАТУВАНОВОГО МЕТАЛУ .....	10
1.1. Характеристика вихідної заготовки (підкату) та вимоги до неї.....	10
1.2. Сортамент продукції та вимоги до якості поверхні підкату .....	11
1.3. Вимоги до якості готового холоднокатаного прокату.....	14
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ НА СТАНІ 1680.....	15
2.1. Подача металу та підготовка до задачі в стан .....	15
2.2. Підготовка стану та налаштування валкової арматури .....	17
2.3. Розрахунок та налаштування швидкісного режиму і режиму обтиснень.....	18
2.4. Задача смуги в стан та початок процесу прокатки .....	21
2.5. Технологічні особливості прокатки та змотування особливо тонких профілів.....	23
2.6. Технологія прокатки зварних швів та заднього кінця смуги.....	24
2.7. Контроль натягу та технологія змотування готового прокату .....	26
3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВАЛКІВ .....	29
3.1. Профілювання робочих та опорних валків.....	29
3.2. Вимоги до збирання клітей та переходу між сортаментом.....	31
3.3. Підготовка поверхні робочих валків (мікрорельєф та шорсткість). 32	
3.4. Тепловий режим експлуатації валків та обмеження для особливо тонкого прокату.....	33
3.5. Норми напрацювання валків та обмеження для особливо тонкого прокату .....	34
3.6. Регулювання площинності смуги системою противигину валків....	35
4. ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН (ЕМУЛЬСІЇ).....	37
4.1. Призначення та базові компоненти технологічної емульсії.....	37

4.2. Концентрація емульсії та регламент її коригування .....	37
4.3. Специфіка термічної обробки рулонів після коригування ЗОР .....	38
4.4. Технологічні вимоги та система подачі емульсії .....	39
4.5. Видалення залишків емульсії перед змотуванням рулону .....	40
4.6. Експлуатація, очищення та оновлення технологічної емульсії .....	41
4.7. Контроль витоків експлуатаційних мастил та аварійні режими .....	42
4.8. Вимоги до підготовки системи та хімічної сумісності мастил .....	43
5. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, МАРКУВАННЯ ТА ОБЛІК ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ .....	45
5.1. Маркування, паспортизація та облік готової продукції .....	45
5.2. Оперативний контроль якості поверхні в процесі прокатки .....	46
5.3. Управління дефектами та метрологічне забезпечення процесу ...	47
6. ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....	49
6.1. Обґрунтування вибору математичної моделі .....	49
6.2. Визначення опору деформації та напруження течії .....	49
6.3. Розрахунок геометричних параметрів осередку деформації .....	50
6.4. Розрахунок зусилля та моментів прокатки .....	51
6.5. Вихідні дані та результати розрахунку режиму обтиснень .....	52
6.6. Аналіз енергосилових параметрів та впливу контактного тертя ....	54
6.7. Оцінка продуктивності стану .....	55
7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	56
7.1. Аналіз умов праці та потенційних небезпек на стані 1680 .....	56
7.2. Нормативно-правова база та вимоги безпеки до персоналу .....	56
7.3. Екологічна безпека та охорона атмосферного повітря .....	57
7.4. Ідентифікація небезпечних виробничих факторів .....	58
7.5. Санітарно-гігієнічні заходи та управління ризиками .....	59
ВИСНОВОК .....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	62
Додаток А .....	64
Переріз робочої кліті стану холодної прокатки 1680 .....	64

Додаток Б .....	65
Компоновка обладнання та монтажне креслення кліті стану (ПАТ «Запоріжсталь») .....	65
Додаток В.....	66
Планувальне рішення цеху холодної прокатки.....	66
Додаток Г .....	67
Додаток Д.....	68
Додаток Е.....	69
Додаток Є.....	70
Додаток Ж.....	71
Додаток З.....	72

## ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування, автомобільної промисловості, будівництва та виробництва побутової техніки висуває дедалі жорсткіші вимоги до якості листового металопрокату. Особливе місце на ринку металопродукції займає особливо тонкий холоднокатаний лист (товщиною 0,5–0,6 мм). Його виробництво є технологічно складним процесом, оскільки вимагає подолання високих питомих тисків, точного контролю теплового профілю валків та застосування ефективних систем змащування. Тому дослідження, аналіз та удосконалення технології прокатки особливо тонких смуг на сучасних безперервних станах (таких як стан 1680) є актуальним інженерним завданням, що дозволяє підвищити якість продукції та знизити відсоток браку.

Мета роботи - дослідження та розробка раціональної технології прокатки особливо тонкого прокату (на прикладі смуги 0,5x1000 мм зі сталі 08Ю) на безперервному 4-клітьовому стані холодної прокатки 1680.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні задачі:

- 1) Аналіз сортаменту, вимог до вихідного гарячекатаного підкату та якості готової продукції.
- 2) Дослідження технологічних особливостей процесу прокатки: від задачі металу в стан до змотування готового рулону.
- 3) Аналіз умов експлуатації валкової арматури, її профілювання та підготовки поверхні.
- 4) Дослідження впливу змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР) на стабільність процесу отримання особливо тонкої смуги.
- 5) Виконання розрахунку енергосилових та кінематичних параметрів прокатки смуги товщиною 0,5 мм з використанням математичної моделі, що враховує пружне сплющення валків.

6) Оцінка безпеки технологічного процесу та розгляд заходів з охорони праці.

Об'єкт дослідження - процес безперервної холодної прокатки листового металу.

Предмет дослідження - технологічні та енергосилові параметри процесу деформації особливо тонкої смуги на стані 1680.

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОКАТУВАНОВОГО МЕТАЛУ

## 1.1. Характеристика вихідної заготовки (підкату) та вимоги до неї

Вихідною заготовкою (підкатом) для виробництва особливо тонкого прокату на безперервному 4-клітьовому стані 1680 служать гарячекатані травлені смуги в рулонах. Для забезпечення стабільності процесу холодної прокатки підкат постачається відповідно до нормативної документації з вуглецевих, низьколегованих, легованих та нержавіючих марок сталі. Вуглецеві та низьколеговані сталі обов'язково проходять попередню стадію травлення для видалення окалини.

Геометричні параметри гарячекатаних травлених рулонів, що задаються на стан, мають чіткі обмеження. Внутрішній діаметр рулону є фіксованим і становить 750 мм, тоді як зовнішній діаметр може варіюватися в межах від 1150 до 1600 мм залежно від маси плавки та вимог замовлення.

До якості змотування підкату висуваються жорсткі вимоги, оскільки від цього залежить безперебійність процесу розмотування на стані 1680 та мінімізація обривів смуги (що є критично важливим при прокатці особливо тонкого сортаменту). Змотування рулонів має бути рівним та щільним. Наявність відстаючого внутрішнього витка або телескопічності рулону технологічно не допускається.

Важливим технологічним аспектом, що безпосередньо впливає на якість металу, є дотримання часових інтервалів міжопераційного зберігання холоднокатаних рулонів перед подальшим відпалом. Оптимальний термін зберігання та передачі металу («зелена зона») становить не більше 48 годин після завершення холодної прокатки. Крайній допустимий строк («жовта зона») обмежується 72 годинами. Перевищення 72-годинного інтервалу класифікується як порушення

технології («красна зона»), оскільки тривале зберігання наклепаного металу може призвести до процесів старіння, зниження пластичних властивостей та погіршення якості готової продукції.

## **1.2. Сортамент продукції та вимоги до якості поверхні підкату**

Безперервний 4-клітьовий стан 1680 призначений для прокатки широкого спектра марок сталі, які умовно поділяються на п'ять основних груп. До сортаменту входять низьковуглецеві (08Ю, 08кп, 10пс, DC01), вуглецеві звичайної якості (СтЗсп, Ст5пс) та низьколеговані (09Г2, 10ХНДП) марки сталі.

Згідно з технологічними можливостями обладнання, товщина гарячекатаного підкату варіюється від 2,0 до 4,0 мм, а кінцева товщина готового холоднокатаного листа становить від 0,5 до 2,5 мм при ширині смуги до 1500 мм. Особливу увагу в технологічному процесі приділяють виробництву особливо тонкого прокату (товщиною 0,5–0,6 мм). Виготовлення такого сортаменту вимагає суворого дотримання режимів обтиснень, при цьому як вихідну заготовку найчастіше використовують підкат товщиною 2,0–2,2 мм.

Окрім геометричних параметрів, критичне значення для стабільності процесу холодної прокатки має якість поверхні підкату. Наявність на поверхні рулону грубих дефектів металургійного походження (залишки окалини, плена) або механічних пошкоджень (завороти кромки, рванини, складки) категорично не допускається. Потрапляння такого металу у валки стану призводить до їх травмування, порушення профілю та, як наслідок, до обривів смуги, ризик яких експоненціально зростає при прокатці особливо тонких профілів. Рулони з виявленими дефектами підлягають перепризначенню або відбраковці.

Також вагомим фактором є контроль часу між процесом хімічного видалення окалини (травленням) та безпосередньо холодною прокаткою.

З метою запобігання утворенню вторинної корозії на поверхні металу цей час має бути мінімальним. Для найбільш відповідальних марок сталі, призначених для складного витягування (наприклад, 08Ю всіх призначень), час від травлення до задачі в стан жорстко регламентований і не повинен перевищувати 8 годин.

Таблиця 1.1 -Марки сталі, вихідні та кінцеві розміри смуг, що прокатуються на безперервному 4-клітьовому стані 1680

Група сталей	Марка сталі	Товщина х/к смуги, мм	Ширина х/к смуги, мм	Товщина підкату, мм
I	08Ю, 08пс, 08кп, 10пс, 10кп, DC01, DX51D	0,5; 0,5-0,6; 0,65; 0,7	від 1000 до 1270	2,0; 2,2; 2,3; 2,5; 2,7
		від 0,8 до 0,9	від 1000 до 1500	3,0; 3,5; 3,8; 4,0
		від 1,0 до 1,3	від 1000 до 1500	3,0; 3,5; 3,8; 4,0
		від 1,4 до 1,6	від 1000 до 1500	3,0; 3,5; 3,8; 4,0
		від 1,7 до 2,0	від 1370 до 1500	4,0
		від 2,2 до 2,5	від 1000 до 1500	4,0
		II	15пс, 15кп, Ст0, Ст2пс, Ст2кп, Ст3пс, Ст3кп	від 0,8 до 0,9
від 1,0 до 1,3	від 1000 до 1500			3,0; 3,5
від 1,4 до 1,6	від 1000 до 1500			3,0; 3,5

		від 1,7 до 2,0	від 1000 до 1500	3,0; 3,5
<b>III</b>	10, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, СтЗсп	0,7; від 0,8 до 0,9	від 1000 до 1250	2,0; 2,3; 2,5
		від 1,0 до 1,3	від 1000 до 1450	2,5; 3,0
		від 1,4 до 1,6	від 1000 до 1500	3,0; 3,5; 4,0
		від 1,7 до 2,5	від 1000 до 1500	4,0
<b>IV</b>	09Г2, 09Г2Д	від 1,0 до 1,2	від 1000 до 1250	2,7; 3,0
		від 1,3 до 1,5	від 1000 до 1250	3,0; 3,5
		від 1,6 до 2,0	від 783 до 1250	3,5; 2,7
	10ХНДП	від 1,0 до 1,2	від 1000 до 1200	2,7; 3,0
		від 1,3 до 2,0	від 982 до 1250	3,0; 3,5
<b>V</b>	10Г2	1,5; 1,6; 2,0	від 1000 до 1200	2,7; 3,2

**Примітка:**

1. Смуги товщиною 0,5 мм допускається прокатувати з г/к (гарячекатаного) підкату товщиною 2,2 мм при вмісті вуглецю в ківшевій пробі понад 0,07%.

2. Ширина смуг спокійних марок сталей — не більше 1400 мм.

3. В окремих випадках (заготовка для ВГП ЦГП\*, «бензобаки» та ін.) допускається ширина смуг із вуглецевих марок сталей від 860 до 1000 мм.

### **1.3. Вимоги до якості готового холоднокатаного прокату**

Готовий холоднокатаний прокат має суворо відповідати вимогам нормативної документації (ДСТУ 8971:2019 [1], EN 10131:2006 [2] та іншим галузевим стандартам). Максимальний зовнішній діаметр готового рулону після прокатки на стані 1680 обмежується 1600 мм при фіксованому внутрішньому діаметрі 760 мм.

Оскільки холоднокатаний лист є продукцією високого ступеня переділу, до його геометрії та стану поверхні висуваються максимальні вимоги. Поверхня смуги має бути чистою; наявність подряпин, відбитків, залишків мастила, вологи або бруду є технологічним браком. Особливу увагу приділяють показнику площинності листа. Дефекти форми, такі як підвищена коробуватість, хвиляста кромка або гофра, є недопустимими, оскільки вони роблять неможливою подальшу якісну переробку металу (наприклад, штампування). Коробуваті ділянки на кінцях рулонів підлягають обов'язковому технологічному обрізанню перед пакуванням.

Змотування готового рулону має бути рівним та щільним. Виступ окремих витків на не обрізаному металі не повинен перевищувати 10 мм, а на обрізаному - 2 мм.

Специфіка пакування особливо тонкого прокату: Кожен рулон щільно обв'язується пакувальною сталевною стрічкою по колу. Однак, технологічною особливістю виробництва тонкого та особливо тонкого прокату (товщина смуги від 0,5 до 1,2 мм), який призначений для подальшого відпалу, є необхідність додаткового радіального обв'язування. Ця операція виконується імпортною пакувальною стрічкою зі спеціальним покриттям з метою жорсткого притискання внутрішнього витка до тіла рулону, що унеможливорює його розпушування та пошкодження під час термічної обробки.

## **2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ НА СТАНІ 1680**

### **2.1. Подача металу та підготовка до задачі в стан**

Для забезпечення безперервного технологічного процесу та позиціювання металу перед прокаткою, вхідна ділянка стану 1680 оснащена комплексом спеціалізованого допоміжного обладнання. Його базові технічні характеристики наведено у таблиці 2.1. Загальний вигляд стану наведено у Додатку Г. Планувальне рішення та розташування обладнання цеху холодної прокатки представлено у Додатку В та План цеху наведений у Додатку Д.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика допоміжного обладнання вхідної ділянки стану 1680

Технологічний процес безпосередньо на 4-клітьовому стані 1680 розпочинається з операції подачі підкату. Гарячекатані травлені рулони, призначені для прокатки, транспортуються електромостовим краном у горизонтальному положенні та вкладаються на похилу сталеву плиту приймального пристрою перед першим пневматичним упором.

Важливим технологічним нюансом на цьому етапі є просторова орієнтація рулону: укладання має виконуватися таким чином, щоб під час послідовного опускання упорів та гравітаційного скочування рулону не відбувалося його самовільного розмотування. Перед скочуванням здійснюється обов'язкове розпакування рулонів з видаленням ярликів та пакувальної стрічки з зовнішнього витка.

При опусканні останнього пневматичного упору рулон надходить на поворотний пристрій, де розвертається навколо вертикальної осі на  $180^\circ$ . Далі, по гравітаційному рольгангу, метал подається на скидач, який за допомогою пневматичного циліндра перекидає рулон безпосередньо в люльку розмотувача. У люльці рулон повертається у положення, зручне для відгинання кінця смуги, та одночасно піднімається або опускається на рівень конусів розмотувача.

Остаточне центрування рулону відносно осі прокатки виконується за допомогою конусів. Після фіксації, електромагнітний відгинач переводить передній кінець смуги у крайнє верхнє положення, готуючи його для безпечної задачі в тягнучі ролики першої кліті.

## **2.2. Підготовка стану та налаштування валкової арматури**

Безперебійність технологічного процесу та якість готового прокату (особливо при виробництві тонкого листа) критично залежать від правильності налаштування клітей стану 1680. Головними завданнями при налаштуванні є забезпечення суворо горизонтального положення валків, встановлення коректного режиму обтиснень по клітях та створення оптимального натягу смуги як між клітями, так і між останньою кліттю та моталкою.

Особлива увага приділяється процедурі зведення та калібрування валків після їх перевалки (заміни). Натискний механізм опускає верхній опорний валок до моменту щільного зіткнення робочих валків, що фіксується за номінальним струмовим навантаженням на двигун. Привід натискних гвинтів кожної кліті здійснюється від двох електродвигунів потужністю по 46 кВт (625 об/хв), які з'єднані електромагнітною муфтою для забезпечення їх спільної або роздільної роботи. Швидкість переміщення гвинтів під час робочого обтиснення становить 8 мм/хв, а при зворотному ході – 12,2 мм/хв. Контроль переміщення здійснюється за допомогою сельсина БД-501. Розрізи кліті прокатного стану у Додатках А, Є, Ж, З. Для візуального контролю паралельності встановлення валків та правильності їх профілювання в цехових умовах використовують метод аналізу розподілу змащувально-охолоджувальної рідини (емульсії). При правильному встановленні (без перекосів) під час обертання валків емульсія віджимається симетрично.

Остаточний контроль правильності налаштування здійснюється динамічно, безпосередньо в процесі задачі металу. Напрямок руху переднього кінця смуги після виходу з кожної кліті має збігатися з поздовжньою віссю прокатки. У разі виникнення зміщення смуги (вправо або вліво), що свідчить про перекис валків, вальцювальник оперативно коригує зазор за допомогою натискних гвинтів, піднімаючи або опускаючи відповідний гвинт. Після вирівнювання ходу смуги валки встановлюються в умовне нульове положення, яке є базовою точкою для подальшого регулювання товщини прокату.

### **2.3. Розрахунок та налаштування швидкісного режиму і режиму обтиснень**

Для забезпечення необхідних швидкісних режимів та подолання високих зусиль прокатки, робочі кліті стану 1680 оснащені потужними електродвигунами постійного струму. Привід валків здійснюється через проміжні вали із зубчастою муфтою, шестеренну кліть та шпindelне з'єднання. Характеристики головних приводів наведено у таблиці 2.2. Загальний вигляд та компоновка обладнання стану наведені у Додатках Б та Е.

Таблиця 2.2 – Характеристика електродвигунів головного приводу стану 1680

Основою стабільного процесу безперервної холодної прокатки є закон сталості секундних об'ємів металу. Орієнтовне налаштування 4-клітьового стану 1680 здійснюється за умови рівності об'ємів металу, що проходять через кожну з клітей за одиницю часу, за умови постійного контролю натягу та товщини смуги:

$$h_1V_1 = h_2V_2 = h_3V_3 = h_4V_4$$

де  $V_1, V_2, V_3, V_4$  – швидкості руху металу по клітях, м/с;

$h_1, h_2, h_3, h_4$  – товщина смуги після виходу з відповідної кліті, мм.

Налаштування стану на заданий режим виконується поетапно. Спочатку робочі валки встановлюються в положення умовного попереднього притискання. Далі задається базова швидкість прокатки для кожної кліті, яка спочатку перевіряється вхолосту. Після цього передній кінець смуги задається в першу кліть, де фактичне обтиснення жорстко коригується за допомогою вимірювальних приладів. Аналогічна процедура регулювання обтиснень послідовно виконується для наступних клітей із паралельним контролем міжклітьового натягу.

Критичним параметром є підтримка сталого натягу смуги між клітями. Будь-яка зміна ступеня обтиснення (або зміна діаметра валків після їх перевалки) вимагає негайного синхронного коригування швидкості приводів. Недотримання цього правила призводить до порушення кінематики процесу: надмірний натяг викликає дефект «утяжка» (звуження смуги) або призводить до обриву металу, що є найбільш критичною проблемою при виробництві особливо тонких профілів. Величина міжклітьового натягу є суворо регламентованим параметром і визначається за технологічними картами залежно від початкової та кінцевої товщини смуги. Питомий натяг між клітями за технологією приймається рівним  $0,3\sigma_s$  (де  $\sigma_s$  – межа плинності прокатуваного металу).

Підрахунок повного натягу ( $P_n$ ) між клітьями для конкретного рулону виконується вальцювальником за формулою:

$$P_n = \frac{P_{100} * B}{100}$$

де  $P_{100}$  – табличне (базове) значення натягу на 100 мм ширини смуги, тонн;

$B$  – фактична ширина прокатуваної смуги, мм.

Значення базового натягу  $P_{100}$  та проміжних товщин для цільового сортаменту (особливо тонкі смуги) наведено у таблиці 2.3. Відповідальність за дотримання заданого режиму натягу покладається на вальцювальника та майстра зміни.

Таблиця 2.3 – Регламентовані величини міжклітьового натягу ( $P_{100}$ ) для особливо тонких профілів

На стабільність фактичного режиму обтиснень впливають кілька динамічних факторів:

- зміна теплового профілю (розігрів) робочих та опорних валків;
- поздовжня різнотовщинність вихідного гарячекатаного підкату;

- коливання швидкості прокатки (особливо на етапах розгону та гальмування стану).

Для мінімізації впливу людського фактора та підвищення точності прокатки, стан 1680 оснащений сучасною автоматизованою системою управління технологічним процесом (АСУТП). Ця система в режимі реального часу виконує збір, обробку та відображення інформації про навантаження на головні приводи, фактичні обтиснення та якість готового листа.

Вихідні дані призначеного для прокатки металу (номер плавки, марка сталі, товщина, ширина смуги, кількість рулонів) вводяться в АСУТП технологічним персоналом за допомогою пульта управління. На інформаційному табло в режимі реального часу відображаються ключові показники: маса прокатоного рулону, відсоток виходу придатного металу за товщиною, поточна продуктивність та простой. Уся зібрана інформація автоматично архівується та формується у звітну документацію («Змінний рапорт» та «Сертифікат рулонів за зміну»), що дозволяє здійснювати наскрізний контроль відхилень товщини та величини натягу по кожному прокатоному рулону.

#### **2.4. Задача смуги в стан та початок процесу прокатки**

Процес безпосередньої задачі підкату в першу кліть вимагає точного просторового позиціювання металу. Перед початком задачі бічні розсувні проводки, що розташовані перед першою кліттю, жорстко встановлюються відповідно до ширини поточної смуги для запобігання її зміщенню відносно осі прокатки.

Відігнутий електромагнітним відгиначем передній кінець смуги притискається знизу до тягнучого ролика. Після фіксації під низ смуги підводяться два опорні ролики. У комплексі з тягнучим роликом вони утворюють трироликову правильну машину, головним завданням якої є

попереднє вирівнювання (правка) переднього кінця підкату перед його подачею у валки.

Вирівняна смуга подається на стаціонарний стіл і на зниженій (заправній) швидкості направляється безпосередньо у валки стану. В момент надійного захвату переднього кінця смуги робочими валками першої кліті, на смугу опускається верхня рама прес-проводки, що забезпечує її стабільне утримання та запобігає утворенню складок. Саме з моменту захвату металу валками кліті №1 розпочинається безпосередній процес холодної пластичної деформації (прокатки) смуги.

Для забезпечення стабільності процесу та отримання заданої товщини вже на початку рулону, проходження переднього кінця смуги через кліті стану супроводжується динамічним коригуванням зазорів. Зокрема, у клітях №1 та №2 застосовується технологія тимчасового збільшення обтиснення (так званий «піджим»). Для цього натискні гвинти опускаються на чітко регламентовану величину (до 1,0 мм нижче нульового положення). У момент, коли передній кінець смуги надійно захоплюється валками останньої, 4-ї кліті, натискні механізми перших двох клітей повертаються у початкове нульове положення.

Увесь процес задачі переднього кінця в усі кліті (з №1 по №4) та подальша задача в зів барабана моталки здійснюється виключно на зниженій (заправній) швидкості. Контроль товщини перших метрів смуги є критичним. При прокатці першого рулону нової плавки вальцювальник обов'язково зупиняє смугу та проводить ручне вимірювання товщини мікрометром за першою кліттю, після чого виконує остаточне налаштування режиму обтиснень.

Таблиця 2.4 – Величини додаткового обтиснення (підтискання) та час їх дії у клітях №1 та №2

## **2.5. Технологічні особливості прокатки та змотування особливо тонких профілів**

Важливим технологічним аспектом є врахування впливу швидкості прокатки на товщину смуги. Під час розгону стану від заправної до робочої швидкості фактичне обтиснення смуги дещо збільшується через гідродинамічні ефекти в підшипниках та зміну умов тертя. Щоб компенсувати це явище, перед розгоном товщина переднього кінця після кліті №4 встановлюється на 0,1–0,5 мм більшою за номінальну. З виходом

стану на стабільну робочу швидкість товщина автоматично встановлюється на заданий рівень.

Окрема технологія змотування застосовується при виробництві особливо тонкого прокату (товщиною 0,5–0,6 мм), що є предметом дослідження даної роботи. При роботі з такими профілями значно зростає ризик утворення дефектів змотування («пташка», злами, «плюшка»). Для мінімізації цих дефектів та формування жорсткої внутрішньої гільзи рулону застосовується методика потовщення передніх кінців смуги.

Згідно з цією технологією, перед заправкою смуги в кліть №4 натискні гвинти піднімаються (+2 мм від нуля). Задача металу у валки та намотування перших кількох витків на барабан моталки відбувається зі зменшеним обтисненням (отримується потовщена смуга). Після надійного формування внутрішньої гільзи на моталці, вальцювальник опускає гвинти кліті №4 до заданої товщини і плавно виводить стан на робочу швидкість.

Після намотування на барабан моталки приблизно 6–7 внутрішніх потовщених витків та створення стабільного натягу, натискні гвинти кліті №4 встановлюються на задану товщину готової смуги (на «нуль»). Оператор головного поста здійснює плавний розгін стану до робочої швидкості прокатки. Одночасно з цим на смугу автоматично заходить ізотопний товщиномір, який дозволяє безперервно контролювати профіль і за необхідності вносити оперативні коригування в зазор валків першої кліті.

## **2.6. Технологія прокатки зварних швів та заднього кінця смуги**

У процесі безперервної холодної прокатки критично важливими етапами, що супроводжуються підвищеним ризиком обриву (особливо для особливо тонкого сортаменту), є проходження через кліті зварних

швів (місце з'єднання гарячекатаних рулонів) та прокатка хвостового кінця смуги.

### **Проходження зварних швів**

Прокатка ділянки зварного шва може здійснюватися в автоматичному або ручному режимах. В автоматичному режимі система керування розпізнає наближення шва за допомогою фотоелектричного датчика. Цей датчик фіксує спеціальні контрольні отвори (мітки діаметром 5,8 мм), які пробиваються біля кромки смуги на відстані 20 мм ще на стадії підготовки металу на безперервно-травленій лінії.

При фіксації мітки автоматика плавно уповільнює стан до заправної швидкості та здійснює превентивне опускання натискних гвинтів клітей №1 і №2 (операція «обтиснення шва»). Це необхідно для жорсткої фіксації металу, компенсації стрибків натягу та запобігання пориву смуги в зоні термічного впливу зварювання. Після виходу шва з кліті №3 стан автоматично розганяється до робочої швидкості, а гвинти повертаються у вихідне положення. У разі ручного керування оператор орієнтується на звуковий сигнал зумера, самостійно знижує швидкість до 2,0–2,5 м/с та активує функцію обтиснення.

З метою контролю якості технологічного процесу, у випадку пориву трьох і більше зварних швів під час прокатки однієї плавки, передбачено обов'язковий відбір зразка розірваного шва. Зразок маркується та направляється на лабораторне дослідження для виявлення металургійних або механічних причин пориву.

### **Прокатка заднього кінця смуги**

Управління прокаткою заднього (хвостового) кінця рулону здійснюється виключно в ручному режимі. Коли на розмотувачі залишається 5–6 витків підкату, швидкість стану превентивно знижується. Для збереження заданої товщини профілю в умовах різкого падіння заднього натягу (в момент виходу металу з розмотувача), натискні гвинти

перших двох клітей додатково опускаються (на 0,2–0,8 мм нижче нульового положення).

Водночас критично важливою дією є підняття натискних гвинтів кліті №4 вище нульової позначки. Це робиться для того, щоб після повного виходу смуги робочі валки останньої кліті не зіткнулися один з одним («не схлеслися») і не отримали механічних пошкоджень поверхні через раптову відсутність металу в зазорі. Після звільнення стану від смуги вся валкова арматура повертається у вихідне положення для прийому наступного рулону.

## **2.7. Контроль натягу та технологія змотування готового прокату**

Заключним, але не менш відповідальним етапом прокатки на стані 1680 є змотування готової холоднокатаної смуги в рулон на барабані моталки. Моталка барабанного типу має діаметр у розтиснутому стані 760 мм (довжина бочки 1790 мм). Привід здійснюється від двоякірного електродвигуна потужністю 2000 кВт, що дозволяє створювати натяг смуги до 18 тонн. Для безпечного зняття готового рулону (масою до 15 т та діаметром до 1600 мм) передбачено гідравлічне зменшення діаметра барабана на 20 мм. Критичним параметром на цьому етапі є суворе дотримання режиму натягу. Величина натягу безпосередньо регулюється зміною струмового навантаження на електродвигун моталки.

Для запобігання такому специфічному дефекту, як зварювання витків між собою під час подальшого термічного оброблення (відпалу), натяг змотування диференціюється залежно від ширини та товщини прокату. Для особливо тонких профілів (0,5–0,6 мм) застосовуються мінімальні значення струму навантаження (400–500 А), тоді як для товстого листа (2,5 мм) ці значення зростають утричі.

Регламентовані величини навантаження на двигун моталки під час змотування смуг, що направляються на відпал, наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Величина навантаження на двигун моталки (А) при змотуванні смуг

Безперервний контроль товщини смуги на робочій швидкості здійснюється ізотопним товщиноміром (РІУС ВТХ-03). Прилад

автоматично заводиться на смугу після створення натягу між 4-ю кліттю та моталкою (після намотування 1,5–2 витків). У разі відхилення показників товщини на «плюс» від номіналу, система керування автоматично або за командою оператора рівномірно збільшує обтиснення у клітках №1-4. При відхиленні на «мінус» — обтиснення зменшується.

Після завершення прокатки всього рулону та його повної намотки, готовий холоднокатаний рулон знімається з барабана моталки за допомогою горизонтального переміщення гідравлічного візка-знімача. Знятий рулон транспортується візком до похилого жолоба приймального пристрою та перекидається на нього для подальшого пакування та відправки на склад або ділянку термічної обробки.

Після зняття рулону з барабана моталки на приймальному пристрої виконується його обов'язкове пакування гарячекатаною сталевною стрічкою. Запаковані рулони поштучно передаються на підняту решітку приймального рольганга, звідки надходять на основний транспортний рольганг.

Далі рулони транспортуються до кантувача, де вони механічно переводяться з горизонтального у вертикальне положення. Після кантування метал встановлюється на транспортер і за допомогою трансферкара передається в термічне відділення для проведення подальшого рекристалізаційного відпалу.

На етапі пакування та транспортування ведеться суворий візуальний контроль за якістю торців рулону. У випадку нерівномірного намотування (що найчастіше трапляється при ліквідації наслідків обриву смуги по зварному шву), виступаючі витки обов'язково обрізаються газовим різакон. Це є необхідним технологічним заходом для запобігання заминанню кромки металу під час його подальшого транспортування та встановлення на стелди термічних печей.

### **3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВАЛКІВ**

#### **3.1. Профілювання робочих та опорних валків**

Основним деформуючим інструментом безперервного стану 1680 є робочі та опорні валки. Їх геометричні розміри, маса та матеріал виконання безпосередньо впливають на жорсткість кліті та якість готового прокату. Характеристики прокатних валків наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розміри та характеристики прокатних валків

Отримання якісного холоднокатаного листа, особливо профілів мінімальної товщини (0,5–0,6 мм), вимагає суворого дотримання геометрії валкової арматури. Для компенсації пружного прогину валків під дією зусилля прокатки та забезпечення ідеальної площинності готової смуги,

робочим та опорним валкам під час шліфування надається спеціальний вихідний профіль (випуклість або увігнутість).

Величина заданої випуклості або увігнутості суворо диференційована і залежить від номера кліті та ширини прокатуваного металу (типу злитка). Базові параметри профілювання валків стану 1680 наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Профілювання валків стану 1680 залежно від ширини прокатуваного металу

Контроль якості шліфування валків здійснюється з високою точністю. Величина випуклості бочки кожного робочого валка вимірюється пасометром у двох взаємно-перпендикулярних площинах через кожні 100 мм по довжині бочки. Допустиме відхилення точності шліфування становить не більше  $\pm 0,02$  мм. Валки, профіль яких не відповідає цим жорстким допускам, в роботу не допускаються і відправляються на перешліфування.

У процесі експлуатації допускається оперативне коригування: при досягненні напрацювання на опорних валках 50% і більше, дозволяється збільшення випуклості верхнього валка, що завалюється, на 0,1 мм.

### **3.2. Вимоги до збирання клітей та переходу між сортаментом**

Оскільки профіль валків безпосередньо прив'язаний до ширини смуги, перехід з одного сортаменту на інший супроводжується обов'язковими перевалками (заміною валків). Категорично забороняється здійснювати холодну прокатку вузьких смуг (I типу) на робочих валках 1-ї та 4-ї клітей, які були початково підготовлені (відшліфовані з іншою випуклістю) для прокатки широких смуг (IV типу). Недотримання цього правила неминуче призводить до втрати площинності та утворення дефектів форми.

Додаткові вимоги висуваються до геометрії парних валків усередині однієї кліті. Розбіжність у діаметрах парних робочих валків допускається в межах не більше 0,40 мм для клітей №1 і №3. Однак для чистової кліті №4, де формується остаточна товщина (що є критичним для особливо тонкого листа), цей допуск посилено вдвічі — розбіжність не повинна перевищувати 0,20 мм.

Установка нижніх опорних валків у горизонтальній площині перевіряється за допомогою рівня. Неспіввісність не повинна перевищувати 0,1 мм на 1000 мм відстані між опорами. Регулювання

положення здійснюється шляхом встановлення спеціальних підкладних пластин під опори на основі станини кліті.

### **3.3. Підготовка поверхні робочих валків (мікрорельєф та шорсткість)**

Для забезпечення стабільного процесу деформації та формування необхідної мікрогеометрії готового листа, поверхня бочок валків проходить спеціальну підготовку. Опорні валки всіх чотирьох клітей, а також робочі валки проміжних клітей (№2 та №3) використовуються виключно зі шліфованою поверхнею.

Натомість робочі валки клітей №1 та №4 в обов'язковому порядку піддаються нанесенню мікрорельєфу (насічці) на сталеструминній машині СМ-1. Насічка виконується за 3 проходи сопла з чітко регламентованим тиском стисненого повітря:

- Для кліті №1: тиск становить 4,5–5,0 атм, цільова шорсткість поверхні прагне до 4,0 мкм Ra (мінімально допустима — 3,5 мкм Ra). Така шорсткість необхідна для надійного захвату гарячекатаного підкату та запобігання пробуксовці.
- Для чистової кліті №4: тиск становить 3,2–3,5 атм, цільова шорсткість прагне до 3,0–3,5 мкм Ra (мінімально допустима — 3,0 мкм Ra). Задана мікрошорсткість на фінальній стадії прокатки особливо тонких профілів відіграє критичну роль — вона запобігає щільному злипанню («зварюванню») витків рулону під час подальшого рекристалізаційного відпалу.

Виняток: шліфовані робочі валки у кліті №4 застосовуються лише при виконанні спеціальних замовлень на виробництво холоднокатаного прокату з глянцевою поверхнею. Такий підхід до відходів показує, що підприємство прагне до безвідходних або маловідходних технологій. Це не просто модні слова, а реальний шлях до сталого розвитку та

зменшення впливу на екологію. Це, по суті, прагнення максимально використовувати все, що є, не викидаючи цінні ресурси.

### **3.4. Тепловий режим експлуатації валків та обмеження для особливо тонкого прокату**

Геометрія валків у процесі прокатки є динамічною величиною, яка суттєво змінюється під впливом теплового розширення. Тому експлуатація свіжозавалених (після перешліфування або насічки) валків вимагає суворого дотримання температурних та швидкісних режимів.

Базовим правилом планування кампанії валків є перехід від ширшого сортаменту до вузкого. Категорично забороняється розігрівати валки шляхом їх обертання під тиском один до одного (без металу). Розігрів здійснюється виключно в процесі прокатки на знижених швидкостях.

Якщо температура бочок підготовлених валків становить менше +5 °С (переважно в осінньо-зимовий період), розігрів виконується в уповільненому темпі: перші 5-15 рулонів прокатуються на швидкості не більше 3–4 м/с.

Технологічне обмеження: Згідно з регламентом, у період початкового розігріву валків допускається прокатка смуг товщиною виключно не менше 1,0 мм. Це обмеження має ключове значення для розроблюваної технології. Виробництво особливо тонкого прокату (0,5–0,6 мм) характеризується підвищеною чутливістю до профілю валкової щілини. Тому задавати особливо тонкий сортамент дозволяється лише на повністю прогрітій стан, коли тепловий профіль («теплова бочка») робочих та опорних валків повністю стабілізувався. Порушення цього правила призведе до миттєвої втрати площинності, утворення хвилястості та високого ризику обриву смуги.

Окремої уваги при прокатці тонкого листа вимагає контроль теплового стану підшипників рідинного тертя (ПРТ) опорних валків. Технологічний персонал повинен постійно контролювати температуру масла на вході в підшипник, яка має суворо підтримуватися в межах 38...48 °С при робочому тиску від 0,8 до 1,6 атм. Критичним параметром є температура масла на виході: вона не повинна перевищувати 55 °С. При досягненні 56 °С автоматично спрацьовує технологічне блокування, яке негайно зупиняє стан для запобігання аварії. Крім того, при виявленні в зливних каналах фрагментів бабіту (антифрикційного шару підшипника), майстер зобов'язаний зупинити прокатку та прийняти рішення про позапланову перевалку опорних валків.

### **3.5. Норми напрацювання валків та обмеження для особливо тонкого прокату**

Економічна та технологічна ефективність роботи стану, а також якість поверхні листа безпосередньо залежать від дотримання норм напрацювання валкової арматури до її обов'язкового перешліфування. Облік довжини прокатаних смуг у кілометрах здійснюється автоматично системою АСУТП.

Базові норми прокату на робочих та опорних валках без перешліфування наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Норми прокату на робочих і опорних валках стану 1680

Специфіка планування кампанії для особливо тонкого листа: Для загального сортаменту кампанія валків будується за суворим правилом переходу від ширших смуг до вузьких (допускається не більше одного переходу "вузький-широкий-вузький" протягом зміни). Однак, виробництво особливо тонкого прокату має жорсткіші рамки. З метою запобігання утворенню дефекту «злами» на холоднокатаному прокаті, смуги товщиною 0,5–0,7 мм (що є цільовим об'єктом даного дослідження) дозволяється прокатувати при напрацюванні на робочих валках чистової кліті №4 не більше 100 км.

Більше того, при прокатці тонких смуг з відповідальної сталі марки 08Ю цей ліміт додатково знижується до 90 км. Це вимагає ретельного планування: особливо тонкий сортамент повинен задаватися в стан на початку кампанії валків, одразу після завершення обов'язкового періоду їх теплового розігріву.

### **3.6. Регулювання площинності смуги системою противигину валків**

Отримання ідеальної площинності смуги товщиною 0,5–0,6 мм є складним технологічним завданням через високу схильність тонкого металу до втрати стійкості під дією напружень деформації. Для оперативного управління профілем валкової щілини чистова кліть №4 оснащена гідравлічною системою противигину робочих валків. Гідростанція системи включає резервуар-відстійник ємністю 650 л. Робочий тиск у системі гідродомкратів становить 105 кгс/см<sup>2</sup>, при цьому діапазон регулювання тиску масла в гідроциліндрах під час прокатки може змінюватися від 0 до 300 кгс/см<sup>2</sup>.

Залежно від характеру дефекту форми, що виникає на виході з 4-ї кліті, вальцювальник застосовує спеціальні алгоритми коригування площинності. Порядок роботи системи противигину наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Порядок роботи системи противигину робочих валків кліті №4

## **4. ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ РІДИН (ЕМУЛЬСІЇ)**

### **4.1. Призначення та базові компоненти технологічної емульсії**

У процесі безперервної холодної прокатки, особливо при виробництві тонких та особливо тонких смуг на стані 1680, в осередку деформації виділяється колосальна кількість теплової енергії внаслідок контактної тертя та внутрішньомолекулярних зсувів металу. Для стабілізації процесу застосовується технологічна емульсія (змащувально-охолоджувальна рідина — ЗОР).

Головними завданнями застосування ЗОР під час прокатки є:

- суттєве зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя між робочими валками та металом;
- інтенсивне відведення тепла, що виділяється під час пластичної деформації;
- оперативне регулювання теплового профілю валків (запобігання їх надмірному тепловому розширенню).

Для промаслювання гарячекатаного травленого підкату, а також для приготування та підживлення технологічної емульсії на стані 1680 як базовий продукт застосовуються спеціалізовані промислові емульсоли марок «Lubro DL ZPS» або «Trenoil S740». Робоча емульсія готується шляхом змішування цих базових емульсолів з технічною або демінералізованою водою у спеціальних резервуарах.

### **4.2. Концентрація емульсії та регламент її коригування**

Якість поверхні готового холоднокатаного листа та стабільність процесу деформації безпосередньо залежать від концентрації емульсолу у воді. Робоча концентрація технологічної емульсії має знаходитися в

діапазоні від \_\_\_\_% до \_\_\_\_%. При цьому технологічний персонал повинен прагнути підтримувати оптимальний (цільовий) показник на рівні \_\_\_\_\_%.

У процесі роботи стану концентрація ЗОР природним чином знижується. Прокатка дозволяється без додаткового коригування до падіння показників до \_\_\_\_%. При досягненні критичної межі в \_\_\_\_% майстер зміни планує додавання свіжого емульсолу.

Процес коригування концентрації вимагає дотримання суворих технологічних правил:

1) Додавання емульсолу виконується виключно під час технологічної зупинки стану (перевалка валків, плановий огляд тощо).

2) На час додавання емульсолу установка очищення ЗОР відключається щонайменше на 1 годину.

3) Після коригування емульсія повинна перемішуватися через стан протягом \_\_\_\_ хвилин.

4) Категорично забороняється здійснювати прокатку рулонів безпосередньо під час коригування та змішування емульсії. Після завершення змішування обов'язково відбирається контрольна проба для лабораторного аналізу.

### **4.3. Специфіка термічної обробки рулонів після коригування ЗОР**

Хімічний склад та концентрація емульсії на поверхні металу безпосередньо впливають на якість його подальшого рекристалізаційного відпалу.

Перші п'ять рулонів, які прокатуються відразу після коригування емульсії (коли на поверхні металу залишається найбільш насичений шар мастила), підлягають особливому обліку. У їхніх картках-партіях робиться спеціальна відмітка «Не пакувати першим». Це технологічне обмеження

означає, що під час завантаження у ковпакові печі термічного відділення ці рулони заборонено встановлювати першими (найнижніми) у стопі, оскільки це може призвести до утворення дефектів поверхні або локального зварювання витків під час нагрівання.

#### **4.4. Технологічні вимоги та система подачі емульсії**

Для забезпечення ефективного охолодження та змащування, робоча емульсія, що подається на стан 1680, має відповідати низці жорстких фізико-хімічних вимог:

- абсолютна стабільність (відсутність розшарування на воду та масляну фазу);
- відсутність корозійного впливу на метал та обладнання;
- відсутність механічних домішок та забруднень;
- температура подачі на стан має підтримуватися в межах від \_\_\_ °С до \_\_\_ °С. Контроль концентрації здійснюється кожні 2 години протягом усієї робочої зміни.

Подача емульсії в осередок деформації здійснюється через розгалужену систему колекторів. Перед кожною з чотирьох клітей встановлено по три 5-секційних колектори з індивідуальним підведенням рідини до кожної секції. Зрошення робочих валків відбувається через \_\_\_ отвори (діаметром \_\_\_ мм), а опорних валків — через \_\_\_ отвори (діаметром \_\_\_ мм), розташованих у шаховому порядку. Основна подача здійснюється з переднього боку кожної кліті. Однак, враховуючи підвищені теплові навантаження, кліті №1 та №4 оснащені додатковими соплами («поливалами») для подачі емульсії також із заднього боку.

#### 4.5. Видалення залишків емульсії перед змотуванням рулону

Критично важливим етапом, особливо при прокатці тонкого та особливо тонкого листа (0,5–0,6 мм), є повне видалення залишків емульсії з поверхні смуги перед її намотуванням на барабан моталки. Потрапляння вологи в рулон неминуче призводить до утворення дефекту «плями забруднень» під час подальшого відпалу.

Для вирішення цього завдання за чистовою кліттю №4 встановлено спеціальний пристрій - емульсійний «відбійник». Він являє собою повітряний колектор, оснащений \_\_\_-ма високопродуктивними форсунками (виробництва фірми «Lechler»). Відбійник створює потужну повітряну завісу («повітряний ніж»), яка здуває залишки рідини зі смуги.

Стабільна робота повітряних сопел є обов'язковою умовою прокатки. Оцінка їх працездатності здійснюється за 3-бальною шкалою:

Оцінка 1: Повітря надходить у повному обсязі по всій ширині сопла (нормальний режим роботи).

Оцінка 2: Повітря надходить у неповному обсязі, отвори частково засмічені (робота стану допускається не більше 30 хвилин для підготовки до заміни форсунок, при цьому допускається засмічення не більше двох сопел підряд).

Оцінка 3: Повітря не надходить (робота стану суворо заборонена).

Для додаткового механічного видалення залишків рідини за кліттю №4 під ролик встановлено обтиральний повсть, щільність прилягання якого до бочки ролика постійно контролюється вальцювальником.

У момент стиснення барабана моталки для зняття готового рулону подача повітря для здування емульсії припиняється автоматично. Після закріплення переднього кінця наступної смуги в зіві барабана, подача повітря автоматично відновлюється.

#### **4.6. Експлуатація, очищення та оновлення технологічної емульсії**

У процесі холодної прокатки технологічна емульсія безперервно забруднюється дрібнодисперсною металевою стружкою (шламом), а також сторонніми експлуатаційними мастилами (витоки з гідравлічних систем стану). Оскільки для особливо тонкого листа чистота поверхні є критичним параметром, термін експлуатації та якість ЗОР суворо регламентуються.

Максимальний час експлуатації робочої емульсії з базових емульсолів за умови використання штатної системи магнітного очищення становить не більше \_\_\_\_ годин. Без використання системи очищення цей час скорочується до \_\_\_\_ годин.

Головним індикатором якості ЗОР є вміст механічних домішок. Процес контролю та оновлення відбувається за таким алгоритмом:

- При накопиченні механічних домішок на рівні 0,040% і більше, приймаються оперативні заходи з відновлення рівня емульсії. Якщо повторний аналіз підтверджує перевищення, здійснюється часткове оновлення ЗОР в обсязі не менше \_\_\_\_% від робочого об'єму бака з обов'язковим відділенням осаду (прокатних шламів).
- Абсолютним лімітом, при якому подальша експлуатація емульсії заборонена, є концентрація механічних домішок \_\_\_\_%.
- Додатково, після 72 годин роботи емульсії, кожні 8 годин проводиться лабораторний аналіз на біоураження (розвиток бактерій), а тричі на тиждень перевіряється відсоток сторонніх експлуатаційних мастил (за числом омилень).

##### **Регламент повної заміни емульсії**

Повна заміна технологічної емульсії планується на період тривалих зупинок стану, оскільки цей процес вимагає щонайменше \_\_\_\_ годин.

Перед приготуванням нової партії мастильно-охолоджувальної рідини в обов'язковому порядку виконується комплекс очисних заходів:

- 1) Механічне чищення бака-відстійника від накопичених прокатних шламів (шлам збирається у спеціальні коробки для подальшої утилізації).
- 2) Чищення та мийка головного емульсійного бака.
- 3) Гідродинамічне промивання всієї емульсійної системи (трубопроводів, колекторів) технічною водою.

**Вимоги при запусках стану:** Якщо стан Тандем був зупинений з відключенням перемішування в баку або відключенням подачі на кліті, перед початком прокатки першої смуги обов'язково здійснюється примусове перемішування емульсії шляхом її холостої подачі на стан протягом не менше \_\_\_ хвилин. Це гарантує однорідність концентрації ЗОР, що подається в осередок деформації.

#### **4.7. Контроль витоків експлуатаційних мастил та аварійні режими**

У процесі експлуатації прокатного стану існує ризик потрапляння в технологічну емульсію сторонніх експлуатаційних мастил (насамперед гідравлічних рідин). Для виробництва особливо тонкого холоднокатаного листа наявність таких домішок є критичною, оскільки вони неконтрольовано змінюють коефіцієнт тертя в осередку деформації (що підвищує ризик обриву смуги) та призводять до утворення дефектів поверхні під час подальшого відпалу.

Контроль за рівнем витоків здійснюється постійно. Залежно від відсотка виявлених сторонніх мастил (у перерахунку на загальну концентрацію витоків в емульсії), регламентовані такі технологічні дії:

- **Від \_\_\_\_ % до \_\_\_\_%:** негайний виклик ремонтної служби для візуального огляду обладнання, локалізації та усунення витoku без зупинки основного процесу.
- **Від \_\_\_\_% до \_\_\_\_%:** здійснюється часткова заміна робочої емульсії (оновлюється не менше \_\_\_\_% від загального об'єму ЗОР у системі).
- **Понад \_\_\_\_%:** критичний рівень забруднення, що вимагає повної (100%) заміни технологічної емульсії.

**Аварійний режим (залповий витік)** Окремо класифікується так званий «залповий витік» — раптова аварійна втрата експлуатаційних мастил об'ємом \_\_\_\_ літрів і більше протягом однієї доби. У такому разі вальцювальник зобов'язаний негайно зупинити стан. Продовження прокатки категорично забороняється до повного усунення причини аварії механічною службою та проведення абсолютно повної заміни всієї технологічної емульсії.

Усі процедури з коригування, заміни ЗОР та очищення баків-відстійників суворо фіксуються технологічним персоналом у відповідних електронних журналах системи АСУТП.

#### **4.8. Вимоги до підготовки системи та хімічної сумісності мастил**

Додатковим фактором, що гарантує стабільність процесу прокатки та високу якість поверхні (що є критичним для особливо тонких профілів), є суворі хімічна сумісність технологічних мастил. Згідно з регламентом, гарячекатаний травлений підкат, який надходить на безперервний стан 1680, повинен попередньо промаслюватися виключно тим самим базовим продуктом (емульсолем), який використовується для приготування робочої емульсії безпосередньо на стані. Це запобігає хімічному конфлікту рідин, спінюванню та розшаруванню робочої ЗОР в осередку деформації.

Очищення системи магнітної сепарації рідини, яка вловлює найдрібніший металевий пил, проводиться з високою періодичністю — кожні \_\_\_ години (кантування очисних ванн).

Контроль за якістю підготовки обладнання перед повною заміною ЗОР є максимально жорстким: перед приготуванням нової партії емульсії змінний майстер проводить візуальну оцінку якості очищення та миття головного бака з обов'язковою фотофіксацією. Фотографії чистого бака із зазначенням дати та часу архівуються на цеховому сервері, і лише після цього надається дозвіл на заливання нової технологічної емульсії. Коригування концентрації під час роботи стану виконується за чітким алгоритмом із блокуванням насосів подачі до повного перемішування суміші ( \_\_\_\_\_ хвилин).

## **5. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, МАРКУВАННЯ ТА ОБЛІК ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

### **5.1. Маркування, паспортизація та облік готової продукції**

Після зняття з моталки та завершення операцій пакування, кожен холоднокатаний рулон підлягає обов'язковому внутрішньоцеховому маркуванню. Дана операція виконується сортувальником-здавальником безпосередньо у приймальній кишени стану.

Маркування наноситься на зовнішній виток рулону за допомогою швидковисихаючого лаку. Обов'язкова ідентифікаційна інформація включає:

1. номер плавки;
2. марку сталі;
3. індивідуальний номер рулону;
4. номер замовлення та позиції;
5. геометричні розміри смуги (товщина та ширина).

На кожен рулон, що направляється до термічного відділення на подальший рекристалізаційний відпал, роздруковується супровідна картка-партія затвердженої форми. Окрім дублювання основних маркувальних даних, у паспорті рулону додатково фіксується історія його виробництва: номер бригади стану, точна дата прокатки, а також прізвища відповідального вальцювальника та сортувальника-здавальника. Для металу, що випускається за ДСТУ 2834-94 (ГОСТ 16523-97) [1], у картці обов'язково вказується група міцності сталі. Рулони експортного або спеціального цільового призначення маркуються відповідними додатковими відмітками.

#### **Контроль невідповідної продукції**

Суворий облік ведеться щодо металу з виявленими відхиленнями. У разі виявлення на рулонах дефектів прокатки (таких як різнотовщинність,

подряпини, відбитки тощо), на них наноситься спеціальна відмітка «б/з» із чітким зазначенням виду дефекту. Такий прокат офіційно переводиться до категорії невідповідної продукції. Складування беззамовних та дефектних рулонів здійснюється на складі прокатного відділення суворо окремо від придатної продукції для запобігання переплутуванню партій металу.

## **5.2. Оперативний контроль якості поверхні в процесі прокатки**

Контроль технологічного процесу та якості поверхні металу здійснюється безперервно протягом усієї робочої зміни. Кожен вальцювальник зобов'язаний візуально контролювати стан смуги, а також за допомогою мікрометра виконувати заміри товщини переднього кінця при переході на новий типорозмір або при прокатці поодиноких рулонів.

Оскільки на робочих швидкостях стану виявити мікрodefекти на особливо тонкому листі практично неможливо, для детальної інспекції поверхні застосовується спеціальний технологічний прийом — утворення «петлі». Ця процедура є обов'язковою і виконується за таким графіком:

1. на першому рулоні на початку зміни;
2. через кожні 4 та 8 годин роботи стану;
3. на першому рулоні після перевалки робочих валків;
4. у позаштатних ситуаціях (після пориву смуги між клітьми або у разі випуску заднього кінця із заворотом).

**Технологія огляду:** за командою старшого вальцювальника, після виходу заднього кінця смуги з робочих валків 1-ї кліті, оператор головного поста управління утворює слабіну металу («петлю») на моталці. Після цього в обов'язковому порядку розбирається електросхема на пульті управління (шляхом вимкнення лінійного контролера в нульове положення) для забезпечення безпеки персоналу.

Старший вальцювальник спільно з вальцювальником 4-ї кліті проводять детальний двосторонній огляд зупиненої ділянки смуги (зверху і знизу). У разі виявлення будь-яких дефектів на полосі (відбитки, подряпини, надирі), бригада оперативно приймає рішення щодо необхідності позапланової перевалки робочих валків або ручної зачистки роликів стану.

### **5.3. Управління дефектами та метрологічне забезпечення процесу**

Система контролю якості на безперервному стані 1680 передбачає чіткий алгоритм дій персоналу при виявленні відхилень. Усі дефекти холоднокатаного металу класифікуються за джерелом їх утворення:

1. Дефекти прокатного походження: При виявленні на поверхні смуги дефектів, утворених безпосередньо в процесі прокатки (подряпини, риски, плями забруднень від емульсії, відбитки від валків, коробуватість або хвилястість), вальцювальник зобов'язаний негайно зупинити стан. Продовження роботи дозволяється виключно після повного усунення причин утворення браку.

2. Дефекти попередніх переділів: Якщо виявлені дефекти виникли на попередніх етапах виробництва (наприклад, дефекти гарячої прокатки або неякісне травлення), змінний майстер призупиняє процес і викликає представників Відділу технічного контролю (ВТК) та відповідальних осіб з суміжних цехів для ідентифікації браку та складання акту спільного огляду.

Інформація про будь-які зауваження (включаючи дефекти зварного шва - не обтиснений шов, потовщення, надриви) оперативно вноситься сортувальником-здавальником до системи АСУ «Оперативний облік виробництва» та обов'язково відображається у супровідній картці-партії

рулону. Для ключових замовників (так званих «відповідальних замовлень») у документації робляться особливі відмітки.

### **Метрологічне забезпечення**

Отримання прецизійної товщини 0,5–0,6 мм неможливе без високоточного вимірювального обладнання. Метрологічне забезпечення технологічного процесу здійснюється за допомогою регламентованого переліку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), до яких належать ручні мікрометри, ізотопні товщиноміри (РІУС ВТХ-03) та стаціонарні вимірювачі натягу смуги (месдози). Зокрема, автоматичне безперервне вимірювання товщини сталевієї смуги в діапазоні від 0,2 до 4,0 мм здійснюється ізотопним товщиноміром марки «РІУС ВТХ-03» (джерело випромінювання - Америцій 241). Ціна поділки приладу становить 0,001 мм, а похибка показань не перевищує  $\pm 0,5\%$  [3], що є критично важливим для виробництва особливо тонкого прокату. Усі прилади проходять обов'язкову періодичну перевірку. Допускається застосування інших засобів вимірювальної техніки лише за умови, що їхні аналогічні характеристики забезпечують необхідну точність вимірювань для особливо тонкого сортаменту.

## 6. ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 6.1. Обґрунтування вибору математичної моделі

Процес холодної прокатки особливо тонких смуг (товщиною 0,5 мм) характеризується високими питомими тисками в осередку деформації, що призводить до значного пружного сплющення робочих валків. Нехтування цим фактором при розрахунках призводить до критичних похибок у визначенні зусилля прокатки (до 30-40%).

Тому для розрахунку енергосилових параметрів на безперервному 4-клітьовому стані 1680 обрано комплексну математичну модель, яка базується на рівняннях рівноваги осередку деформації з урахуванням пружного сплющення валків за методикою Хічкока та деформаційного зміцнення металу [4, 5]. Розрахунок реалізовано алгоритмічно з використанням ітераційних циклів у програмному середовищі VBA (Visual Basic for Applications).

### 6.2. Визначення опору деформації та напруження течії

Здатність металу чинити опір пластичній деформації (напруження течії) зростає зі збільшенням ступеня деформації внаслідок наклепу. Для сталі марки 08Ю межа плинності розраховується за поліноміальною залежністю:

$$\sigma_s = a_0 + a_1 \varepsilon_\Sigma + a_2 \varepsilon_\Sigma^2 + a_3 \varepsilon_\Sigma^3$$

де  $a_0, a_1, a_2, a_3$  — емпіричні коефіцієнти кривої зміцнення для конкретної марки сталі (для 08Ю приймаються:  $a_0 = 280.4, a_1 = 1362, a_2 = -1593, a_3 = 757.6$ );

$\varepsilon_\Sigma$  - сумарна відносна деформація металу від вихідного підкату до поточної кліті.

Оскільки прокатка широких смуг відбувається в умовах плоскої деформації (ширина смуги значно перевищує її товщину), опір деформації з урахуванням підпору бічних зон визначається за умовою пластичності Треска-Сен-Венана:

$$K = 1,115 * \sigma_s$$

### 6.3. Розрахунок геометричних параметрів осередку деформації

Абсолютне та відносне обтиснення в поточній кліті розраховуються за класичними формулами:

$$\Delta h = h_0 - h_1$$
$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

де  $h_0, h_1$  - товщина смуги до та після кліті відповідно, мм.

Довжина дуги захвату без урахування сплющення валків:

$$L_0 = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{R\Delta h}$$

де  $R$  - номінальний радіус робочого валка, мм.

Для визначення реальної довжини дуги контакту ( $L_c$ ) з урахуванням пружного прогину валків використовується формула Хічкока [6]. Оскільки параметр сплющення залежить від тиску металу на валки, розрахунок ведеться методом послідовних наближень (ітерацій). Величина пружного стиснення валка  $x$  визначається як:

$$x = \frac{8Rp_{cp}(1 - \nu^2)}{\pi E_\nu}$$

де  $p_{cp}$  - середній питомий тиск металу на валки, МПа;

$\nu$  - коефіцієнт Пуассона для матеріалу валків (для сталі  $\nu = 0,3$ );

$E_\nu$  - модуль пружності матеріалу валків ( $E_\nu = 210000$  МПа).

Уточнена довжина дуги контакту на кожній ітерації:

$$L_c = \sqrt{R\Delta h + x^2} + x$$

Цикл перерахунку завершується, коли різниця між попереднім ( $L_0$ ) та уточненим ( $L_c$ ) значенням довжини дуги стає меншою за 5%.

#### 6.4. Розрахунок зусилля та моментів прокатки

Для врахування сил контактного тертя та натягу смуги розраховується показник нейтрального перерізу  $\delta$ :

$$\delta = \frac{2fL_c}{\Delta h}$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя в осередку деформації.

Товщина смуги в нейтральному перерізі (точці, де швидкість металу дорівнює швидкості валків) визначається з урахуванням коефіцієнтів заднього ( $\varepsilon_0$ ) та переднього ( $\varepsilon_1$ ) натягу:

$$h_n = \left( \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_1} * h_0^{\delta-1} * h_1^{\delta+1} \right)^{\frac{1}{2\delta}}$$

Коефіцієнт напруженого стану ( $n_\sigma$ ), який враховує вплив тертя та зовнішніх натягів на тиск металу:

$$n_{\sigma} = \left[ \frac{(1 - \varepsilon_0)h_0}{\delta - 2} \left( \left( \frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta-2} - 1 \right) + \frac{(1 - \varepsilon_1)h_1}{\delta + 2} \left( \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta+2} - 1 \right) \right] * \frac{1}{\Delta h}$$

Середній питомий тиск металу на валки:

$$p_{cp} = K * n_{\sigma}$$

Повне зусилля прокатки (в меганьютонах, МН) обчислюється як добуток питомого тиску на площу контакту:

$$P = \frac{p_{cp} * b * L_c}{10^6}$$

де  $b$  - ширина прокатуваної смуги, мм.

Момент прокатки ( $M$ , кН·м) та потужність прокатки ( $N_p$ , кВт) розраховуються за формулами [8, 9]:

$$M = \frac{2k_s * K * f * R * b * L_c}{\Delta h * 10^6}$$

$$N_p = \frac{M * V * h_0}{R * h_n} * 1000$$

де  $V$  – швидкість прокатки, м/с;

$k_s$  - коефіцієнт плеча рівнодіючої сили.

## 6.5. Вихідні дані та результати розрахунку режиму обтиснень

На основі розробленої математичної моделі було проведено розрахунок режимів прокатки для особливо тонкої смуги перерізом 0,5x1000 мм (сталь 08Ю) з вихідного підкату товщиною 2,2 мм.

Таблиця 6.1 - Вихідні дані та результати розрахунку режиму обтиснень

Рисунок 6.1 - Залежність зусилля прокатки від відносної деформації по клітях стану 1680

## **6.6. Аналіз енергосилових параметрів та впливу контактного тертя**

## **6.7. Оцінка продуктивності стану**

## **7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **7.1. Аналіз умов праці та потенційних небезпек на стані 1680**

Процес холодної прокатки особливо тонких смуг на безперервному 4-клітьовому стані 1680 належить до робіт із підвищеною небезпекою. Технологічний процес супроводжується наявністю низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів, серед яких:

- рухомі частини великогабаритного обладнання (валки, моталки, розмотувачі);
- висока швидкість руху металевої смуги (до 8-10 м/с) та ризик її пориву з утворенням гострих кромок;
- наявність обладнання, що працює під високим тиском (гідравлічні та пневматичні системи);
- підвищений рівень шуму та вібрації від головних приводів стану;
- використання хімічно активних речовин (змащувально-охолоджувальних рідин, мастил).

Для нейтралізації цих факторів на підприємстві функціонує комплексна система управління охороною праці, що базується на державних стандартах та внутрішніх регламентах ПАТ «Запоріжсталь».

### **7.2. Нормативно-правова база та вимоги безпеки до персоналу**

Загальне керівництво та контроль за дотриманням норм охорони праці здійснюють старший майстер та майстер зміни прокатного відділення відповідно до Закону України «Про охорону праці» [10], Кодексу законів про працю України та Основ законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування.

Безпосередньо під час роботи на стані 1680 технологічний та ремонтний персонал зобов'язаний неухильно дотримуватися «Кардинальних правил з охорони праці та промислової безпеки ПАТ «Запоріжсталь», а також низки спеціалізованих інструкцій:

1) Технологічний персонал: робота вальцювальника регламентується інструкцією №06.01, а оператора головного поста керування - інструкцією №06.22. Контролери ВТК діють згідно з вимогами інструкції №42.05.

2) Ремонтна служба: безпека слюсарів з ремонту обладнання та енергоустаткування забезпечується дотриманням інструкцій №0.03 та №06.05 відповідно.

3) Електробезпека та блокування: ключовим елементом безпечного обслуговування стану є суворе дотримання інструкції №0.06 про порядок застосування бірочної системи (Lockout/Tagout). Ця система унеможливорює випадковий запуск механізмів під час їх огляду чи ремонту. Додатково персонал керується інструкцією №0.30 для осіб з I кваліфікаційною групою з електробезпеки.

4) Загальнозаводські вимоги: усі працівники проходять інструктажі за загальними вимогами безпеки (інструкція №0.01) та правилами надання домедичної допомоги (інструкція №0.51). Окремо регламентується безпека при роботі з персональними електронно-обчислювальними машинами (АСУТП) за інструкцією №0.24.

### **7.3. Екологічна безпека та охорона атмосферного повітря**

Враховуючи використання великих обсягів технологічної емульсії та мастил, процес холодної прокатки потребує суворого екологічного контролю. Експлуатація обладнання цеху холодної прокатки здійснюється згідно з вимогами Закону України «Про охорону атмосферного повітря» [11].

Керівництво цеху та екологічна служба підприємства забезпечують дотримання Наказу Міністерства охорони навколишнього природного середовища №309 від 27.06.2006 р. «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» [18]. Для цього стан 1680 обладнаний сучасними витяжними системами з краплевловлювачами, які запобігають потраплянню аерозолів емульсії в робочу зону та атмосферу, а відпрацьовані мастила централізовано збираються для подальшої регенерації або утилізації.

#### **7.4. Ідентифікація небезпечних виробничих факторів**

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 [14], на виробничих дільницях прокатного відділення ЦХП на працівників можуть впливати наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- ✓ підвищений рівень шуму на робочому місці (гранично допустимий рівень становить ПДР = 80 дБА);
- ✓ підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якої може відбутися через тіло людини (380 В);
- ✓ підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- ✓ підвищена запиленість та загазованість робочої зони (пил, мінеральні та нафтові мастила у вигляді аерозолів);
- ✓ гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхні металопрокату, інструментів і обладнання.

Контроль за дотриманням параметрів мікроклімату, освітлення та вібрації здійснюється згідно з державними санітарними нормами, зокрема ДСН 3.3.6.037-99 [16] (щодо шуму та вібрації) та ДБН В.2.5-28-2018 [17] (щодо освітлення). Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) згідно з ГОСТ 12.1.005-88 [15].

## 7.5. Санітарно-гігієнічні заходи та управління ризиками

Фундаментом безпеки в цеху холодної прокатки є дотримання специфічних галузевих стандартів, головним з яких є НПАОП 27.1-1.04-09 «Правила охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу» [12], а також ДСП 3.3.1.038-99 «Державні санітарні правила для підприємств чорної металургії» [13].

Для мінімізації впливу шкідливих факторів при виконанні робіт технологічний та ремонтний персонал в обов'язковому порядку забезпечується сертифікованим спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до встановлених норм.

Сучасна система управління охороною праці на стані 1680 передбачає обов'язкове ознайомлення кожного працівника під розпис із ключовими документами з оцінки ризиків: «Реєстром ідентифікації небезпек і оцінки ризиків», «Реєстром неприйнятних ризиків» цеху холодної прокатки, а також зі схемами безпечних маршрутів пересування територією цеху.

## ВИСНОВОК

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження технології та енергосилових параметрів процесу холодної прокатки особливо тонкої смуги (перерізом 0,5x1000 мм зі сталі 08Ю) на безперервному 4-клітьовому стані 1680. На основі аналізу технологічних інструкцій та результатів математичного моделювання зроблено наступні висновки:

1) **Оптимізація технологічного процесу:** встановлено, що для забезпечення стабільного процесу прокатки смуги товщиною 0,5 мм критичним є дотримання температурно-швидкісного режиму та графіка напрацювання валків. Задавати особливо тонкий сортамент дозволяється лише на повністю прогрійтий стан, при цьому максимальне напрацювання на робочих валках чистової кліті №4 для сталі 08Ю не повинно перевищувати \_\_\_ км.

2) **Вплив змащувально-охолоджувальних рідин:** Доведено, що якість емульсії є визначальним фактором для отримання якісного профілю. Підтримка робочої концентрації емульсолу на рівні \_\_\_% дозволяє стабілізувати коефіцієнт тертя в осередку деформації (на рівні  $f = \underline{\hspace{1cm}}$ ). Розрахунковим шляхом підтверджено, що погіршення умов змащування (зростання тертя до \_\_\_\_\_) призводить до пружного здавлювання робочих валків, аномального зростання зусилля та неможливості отримання смуги товщиною \_\_\_ мм.

3) **Математичне моделювання та енергосилові параметри:** за допомогою розробленої алгоритмічної моделі в середовищі VBA розраховано раціональний режим обтиснень по клітях за спадною схемою: \_\_\_\_\_. Зниження ступеня деформації в останніх клітях дозволяє мінімізувати пружне сплющення валків та сформувати ідеальну площинність.

4) **Навантаження на обладнання:** визначено, що розрахункове зусилля прокатки знаходиться в межах \_\_\_\_\_ МН, при цьому максимум (\_\_\_\_\_ МН) припадає на другу кліть внаслідок інтенсивного деформаційного зміцнення металу. Потужність прокатки спадає від \_\_\_\_\_ кВт у першій кліті до \_\_\_\_\_ кВт в останній, що відповідає паспортним можливостям приводів стану 1680.

5) **Продуктивність та ефективність:** за розрахованими кінематичними параметрами (робоча швидкість \_\_\_\_\_ м/с) повний цикл прокатки \_\_-тонного рулону складає \_\_\_\_\_ секунд. Годинна продуктивність стану на даному профілі становить \_\_\_\_\_ тонн/год, що забезпечує високу рентабельність виробництва.

6) **Безпека життєдіяльності:** проаналізовано систему управління охороною праці в прокатному відділенні. Технологія прокатки відповідає чинним нормативно-правовим актам (зокрема щодо рівня шуму ПДР = 80 дБА), а система аспірації та використання ЗІЗ мінімізують вплив шкідливих виробничих факторів на персонал.

Розроблений та проаналізований технологічний режим забезпечує високу якість особливо тонкого холоднокатаного листа, знижує ризик утворення дефектів (обривів, непланшетності) та є повністю придатним для використання в умовах реального виробництва на ПАТ «Запоріжсталь».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8971:2019. Прокат плоский холоднокатаний з вуглецевої сталі для холодного штампування. Технічні умови. Чинний від 2020-01-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 24 с.
2. EN 10131:2006. *Cold rolled uncoated and zinc or zinc-nickel electrolytically coated low carbon and high yield strength steel flat products for cold forming – Tolerances on dimensions and shape*. Brussels : CEN, 2006. 18 p.
3. ТИ 226-П.ХЛ-02-2024. Технологічна інструкція. Виробництво холоднокатаного прокату в цеху холодної прокатки. Запоріжжя : ПАТ «Запоріжсталь», 2024.
4. Мазур В. Л. Теорія і технологія прокатки : навч. посіб. Київ : Вища шк., 2001. 285 с.
5. Технологія прокатного виробництва : підручник / В. М. Данченко, А. А. Мінаєв, О. С. Смирнов та ін. ; за ред. В. М. Данченка. Донецьк : ДонНТУ, 2008. 478 с.
6. Ніколаєв В. О. Основи теорії прокатки : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2012. 300 с.
7. Доброносів Ю. К. Теорія обробки металів тиском : підручник. Маріуполь : ПДТУ, 2013. 356 с.
8. Савелов Д. В., Ніколаєв В. О. Проєктування та розрахунок обладнання прокатних цехів : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. 215 с.
9. Максименко О. П., Данченко В. М., Осада О. С. Теорія прокатки. Контактні задачі : навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2007. 253 с.
10. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 10.06.2026).

11. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 р. № 2707-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (дата звернення: 10.06.2026).

12. НПАОП 27.1-1.04-09. Правила охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу. Київ : Держгірпромнагляд України, 2009.

13. ДСП 3.3.1.038-99. Державні санітарні правила для підприємств чорної металургії. Київ : МОЗ України, 1999.

14. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартів безпеки праці. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація. Москва : Изд-во стандартов, 1974. 6 с.

15. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. Москва : Изд-во стандартов, 1988. 75 с.

16. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999.

17. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с.

18. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел : наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 р. № 309. Київ, 2006.