Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти ____перший (бакалаврський) рівень____

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему ____Розробка технології прокатки штабу розмірами 0,6×1030 мм зі сталі 08ПС на реверсивному стані холодної прокатки 1200____

Виконав: студент _3_курсу, групи 6.1362-омт

Свириденко Сергій Анатолійович_____

(ПІБ) (підпис)

спеціальності

____136 Металургія_____

(шифр і назва)

спеціалізація

_____

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія_____

(шифр і назва)

Керівник Бєлоконь Ю.О_____

(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2026 року

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

Кафедра ___металургійних технологій, екології та техногенної безпеки____
Рівень вищої освіти _____перший (бакалаврський) рівень_____
перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність ____136 металургія_____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма ____металургія___ _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТБ
_____Ю.О. Бєлоконь
“___” _____2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ
_____Свириденко Сергій Анатолійович_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта)__ Розробка режиму прокатки штаби розмірами 0,6×1030 мм зі сталі 08ПС на реверсивному стані холодної прокатки 1200_____
керівник роботи (проєкту)_Бєлоконь Юрій Олександрович д.т.н, професор__
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29. 12 2022 року №1894-с
2. Строк подання студентом роботи (проєкта)_____ ____
3. Вихідні дані до роботи (проєкта)__Визначення режиму прокатки штаба 0,6×1030 мм, сталь – 08ПС_____
_____
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 15 слайдах (на 15 сторінках)_____
_____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Загальна частина	Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Технологічна частина	Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Механічна частина	Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Охорона праці та техногенна безпека	Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри	
Нормоконтроль	Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Реферат		
3	Загальна частина		
4	Технологічна частина		
5	Механічна частина		
6	Охорона праці та техногенна безпека		
7	Висновки		

Студент _____С.А. Свириденко___
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____Ю.О. Бєлоконь_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 52 с., 5 рис., 9 табл., 27 джерел.

ПРОКАТКА, РЕВЕРСИВНИЙ СТАН 1200, ШТАБА, ОБТИСНЕННЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, СТАЛЬ 08пс, МІЦНІСТЬ ВАЛКІВ, ПЛАНШЕТНІСТЬ.

Об’єкт дослідження – технологічний процес холодної прокатки штаби на одноклітьовому реверсивному стані 1200.

Предмет дослідження – режими деформації, енергосилові параметри та показники якості штаби розміром 0,6×1030 мм зі сталі марки 08пс.

Мета роботи – розробка раціональної технології прокатки штаби 0,6×1030 мм, що забезпечує стабільність геометричних параметрів, високу планшетність прокату та оптимальне завантаження обладнання стана 1200.

Методи дослідження – аналітичний розрахунок режимів обтиснень за проходами, визначення зусиль прокатки за методикою М. Стоуна, розрахунок деталей стана на міцність, оцінка продуктивності стана.

У роботі проведено розрахунок режиму деформації за 5 проходів (з товщини 2,2 мм до 0,6 мм). Визначено повний тиск металу на валки, моменти прокатки та потужність двигунів головного приводу для кожного проходу. Виконано перевірку міцності робочих валків при максимальних експлуатаційних навантаженнях.

Запропоновано заходи щодо вдосконалення системи автоматичного регулювання профілю та форми (САРПФ) із застосуванням гідровигину робочих валків та встановленням сучасних датчиків планшетності. Це дозволяє забезпечити високу якість широкої штаби, що відповідає вимогам автомобільної промисловості.

ЗМІСТ

ВСТУП……..…7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ……...10
1.1 Характеристика цеху холодної прокатки…….10
1.2 Технічна характеристика реверсивного стана 1200…… 14
1.3 Характеристика сталі марки 08пс……16
1.4 Вимоги до якості холоднокатаної штаби…….18
1.5 Аналіз існуючих технологій прокатки широких штаб……19
1.6 Заходи щодо підвищення планшетності прокату……21
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ……26
2.1 Розрахунок режиму обтиснень по проходах……26
2.2 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки……28
2.3 Розрахунок швидкості та продуктивності стана…….33
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКЦІЯ ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ СТАНА……36
3.1 Опис конструкції робочої кліті…….36
3.2 Перевірка міцності робочих валків……..38
3.3 Визначення годинної продуктивності стану……...39
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ……..42
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів…….42
4.2 Заходи щодо охорони навколишнього середовища……...44
4.3 Правила безпечного виконання робіт вальцьовальником…….46
4.4 Електробезпека при експлуатації стана 1200…….48
ВИСНОВКИ……..……50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ…….. .52

ВСТУП

Металургійна галузь України традиційно є фундаментом промислового та експортного потенціалу країни, забезпечуючи матеріальну базу для розвитку суміжних секторів економіки. Серед усього розмаїття металопродукції особливе місце посідає виробництво холоднокатаного листового прокату. Така продукція характеризується високою доданою вартістю, підвищеною точністю геометричних розмірів, високою якістю поверхні та комплексом заданих фізико-механічних властивостей. Холоднокатаний лист є критично важливою сировиною для таких стратегічних та високотехнологічних галузей промисловості, як автомобілебудування, вагонобудування, приладобудування, виробництво побутової техніки та сучасна будівельна індустрія.

Актуальність даної роботи обумовлена постійним жорсткішанням вимог сучасних споживачів до якісних показників широкоштабного прокату, зокрема його площинності (планшетності) та рівнотовщинності. При виробництві тонких штаб шириною понад 1000 мм, зокрема з конструкційної вуглецевої якісної сталі марки 08пс, виникає низка серйозних технологічних складнощів. Сталь 08пс (напівспокійна) є оптимальною та економічно вигідною за співвідношенням «ціна-якість» для масового сегменту ринку, проте через особливості свого хімічного складу та мікроструктури вона виявляє високу схильність до інтенсивного деформаційного зміцнення (наклепу). Це вимагає суворого наукового обґрунтування та дотримання деформаційних і швидкісних режимів прокатки для запобігання вичерпанню ресурсу пластичності металу, мінімізації внутрішніх напружень та отримання заданої текстури деформації.

Теорія і практика листопрокатного виробництва показують, що при прокатці тонких широких смуг різко зростає вплив пружної деформації елементів робочої кліті. Основними проблемами є пружний вигин та контактне

пружне сплющування робочих валків під дією високих питомих тисків в очагу деформації. Нерівномірність розподілу міжвалкового тиску по ширині бочки валка призводить до формування неоднорідного профілю міжвалкової щілини. Як наслідок, виникає нерівномірність деформації по ширині штаби, що є першопричиною появи некомпенсованих залишків внутрішніх напружень та виникнення таких критичних дефектів форми, як хвилястість по краях або коробоватість по центру полоси.

Використання одноклітьового реверсивного стана «кварто» 1200 для прокатки штаби розміром 0,6×1030 мм є технічно та економічно обґрунтованим рішенням, особливо в умовах необхідності гнучкого реагування на замовлення дрібно - та середньосерійного сортаменту. На відміну від безперервних широкосмугових станів, реверсивна одиниця дозволяє гнучкіше керувати процесом деформації шляхом оперативного коригування міжпрохідних натягів та режимів обтиснень безпосередньо в ході прокатки рулону. Разом з тим, концентрація значних сумарних деформацій в одній кліті висуває підвищені вимоги до точності розрахунку енергосилових параметрів процесу для запобігання аварійним перевантаженням механічного та електричного обладнання стана.

Метою кваліфікаційної роботи є науково-технічне обґрунтування та розробка раціональної технології холодної прокатки штаби розміром 0,6×1030 мм зі сталі 08пс на одноклітьовому реверсивному стані 1200 для підвищення стабільності геометричних параметрів та планшетності готового прокату.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Аналіз сучасного стану технології та обладнання цеху холодної прокатки з метою визначення резервів підвищення ефективності виробництва широких смуг.

2. Проєктування раціонального 5-прохідного режиму обтиснень по проходах, який забезпечує оптимальний розподіл деформації з урахуванням кривої зміцнення сталі 08пс та виключає ризик пориву металу.

3. Комплексний розрахунок енергосилових параметрів прокатки (контактних зусиль, моментів деформації та необхідної потужності приводу) за методикою М. Стоуна з обов’язковим урахуванням пружного сплющування робочих валків.

4. Аналіз механічної міцності та тривалої витривалості деталей головної лінії робочої кліті стана 1200 при максимальних експлуатаційних навантаженнях.

5. Розробка інженерних рекомендацій щодо вдосконалення систем автоматичного регулювання профілю та форми (САРПФ) із застосуванням систем противигину робочих валків та сучасних засобів безконтактного контролю планшетності.

6. Оцінка умов праці на робочому місці вальцьовальника та розробка заходів з охорони праці, пожежної та техногенної безпеки відповідно до сучасних нормативних вимог.

Наукова та практична цінність роботи полягає в оптимізації деформаційного циклу реверсивної прокатки, що дозволяє раціонально перерозподілити навантаження на головний привід стана 1200, суттєво знизити питомі енерговитрати, мінімізувати відсоток технологічного браку за дефектами планшетності та підвищити вихід придатного високоякісного автомобільного листа, що відповідає жорстким вимогам міжнародних стандартів.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика цеху холодної прокатки

Цех холодної прокатки (ЦХП) ПАТ «Запоріжсталь» є завершальною ланкою виробничого ланцюга комбінату, де формується фінальна якість та споживчі властивості плоского прокату. На сьогоднішній день цех продовжує стабільну роботу, незважаючи на логістичні виклики та умови воєнного стану, забезпечуючи внутрішній ринок та експортні поставки.

Цех холодної прокатки (ЦХП) ПАТ «Запоріжсталь» є завершальною, найбільш високотехнологічною ланкою всього виробничого ланцюга металургійного комбінату. Саме в цьому підрозділі формується фінальна якість, точність геометричних параметрів, мікрорельєф поверхні та комплекс кінцевих фізико-механічних і споживчих властивостей плоского прокату. На сьогоднішній день цех продовжує демонструвати стабільну та ефективну роботу, успішно адаптувавшись до складних логістичних викликів, дефіциту окремих видів сировини та умов воєнного стану. ЦХП надійно забезпечує потреби як внутрішнього ринку України, так і критично важливі експортні поставки до країн Європейського Союзу.

Сучасна структура підрозділу включає 15 основних і допоміжних відділень та технологічних дільниць, пов’язаних між собою єдиною логістичною системою цехового транспорту (мостові крани з кліщовими магнітними захватами, підлогові ланцюгові конвеєри та автоматизовані рулоновози). Це забезпечує повний безперервний цикл обробки металу:

Дільниця підготовки та травлення металу – сновним агрегатом тут є сучасний безперервний травильний агрегат БТА-4. Даний комплекс побудований із суворим дотриманням жорстких європейських екологічних стандартів. Агрегат працює в повністю закритому циклі та інтегрований з установкою регенерації соляної кислоти, що практично повністю виключає

шкідливі викиди в атмосферу та скидання промислових стоків. На БТА-4 здійснюється видалення щільного шару окалини з поверхні гарячекатаного підкату, обрізка країв, дефектоскопія та промаслювання рулонів технологічною змазкою для захисту від корозії перед передачею на стани холодної прокатки.

Дільниця холодної прокатки. – технологічне ядро дільниці представлене високопродуктивним безперервним чотирьохклітьовим станом 1680, а також реверсивними станами кварто, серед яких ключове місце посідає реверсивний стан 1200. У той час як безперервний стан орієнтований на масовий випуск однотипного листа, одноклітьовий реверсивний стан 1200 спеціалізується на прокатці порівняно малих та середніх партій металу, а також штаб критичного і складного асортименту (зокрема широких і тонких смуг розміром 0,6×1030 мм). Завдяки можливості точного покрокового регулювання міжпрохідних натягів та гнучкого налаштування режимів обтиснень, стан 1200 забезпечує екстремально високу точність геометричних розмірів по довжині рулону.

Дільниця термічної обробки (термічне відділення) –. процес інтенсивної холодної деформації призводить до сильного наклепу та різкого зниження пластичності сталі 08пс. Для відновлення дрібнозернистої структури та необхідних механічних властивостей дільниця обладнана сучасними ковпаковими одностопними печами. Відпал рулонів ведеться в захисному водневому або азотно-водневому середовищі за суворими температурними графіками рекристалізації, що повністю виключає окиснення поверхні металу та появу дефектів «зварювання» витків рулону.

Дільниця дресирування та фінішної обробки – представлена високоточними дресирувальними станами 1700-1 та 1700-2. Дресирування (прокатка з мінімальним обтисненням у межах 0,5–1,5%) є обов’язковою фінішною операцією для сталі 08пс. Вона виконується для ліквідації майданчика текучості (що запобігає появі ліній зсуву при подальшому штампуванні у споживача), надання штабі ідеальної площинності, а також

перенесення заданої мікрошорсткості з насічки робочих валків на поверхню листа.

Порівняльна характеристика прокатного обладнання ЦХП – для розуміння специфіки роботи та ролі реверсивного стана 1200 в загальній структурі ЦХП ПАТ «Запоріжсталь», необхідно провести порівняльний аналіз усього парку прокатних агрегатів цеху. В основному пролітному відділенні холодної прокатки паралельно експлуатуються кілька типів станів, кожен з яких орієнтований на свій технологічний сегмент:

Безперервний чотирьохклітьовий стан 1680 – це головний високопродуктивний агрегат цеху, призначений для масового виробництва автомобільного листа та тонколистового прокату широкого сортаменту. Прокатка на ньому ведеться в безперервному режимі (рулон за рулоном, що зварюються перед травленням), а швидкість на виході з останньої кліті досягає 25 м/с. Головна відмінність від стана 1200 полягає в тому, що стан 1680 орієнтований на велику ширину (до 1500 мм) та випуск величезних однотипних партій металу. Проте він є менш гнучким при переналаштуванні на інші товщини та марки сталі, а також вимагає значного часу на заміну валків (перевалку).

Одноклітьовий реверсивний стан 1200 (об’єкт проектування). – на відміну від потужного стана 1680, стан 1200 забезпечує максимальну гнучкість виробництва. Тут метал деформується за кілька проходів (вперед-назад) в одній єдиній кліті. Його техніко-економічна перевага полягає у можливості прокатки малих партій металу (навіть від одного рулону) під індивідуальні жорсткі вимоги замовника. Стан 1200 незамінний для прокатки тонкої штаби (0,6 мм) та критичних за планшетністю смуг середньої ширини (1030 мм), оскільки дозволяє оперативно коригувати зусилля гідровигину та натяг моталок безпосередньо від проходу до проходу. Енерговитрати та капітальні витрати на його обслуговування є значно нижчими, ніж у безперервного гіганта 1680.

Дресирувальні стани 1700-1 та 1700-2 – це одноклітьові стани системи

«кварто», які, на відміну від станів 1680 та 1200, не призначені для значного зменшення товщини штаби. Обтиснення на них є суто калібрувальним і становить всього 0,5-1,5%. Їхня роль у цеху – фінішна обробка відпаленого в ковпакових печах металу (включаючи сталь 08пс) для ліквідації схильності до старіння, усунення хвиль та колірних дефектів, а також надання листу дзеркальної або мікрошорсткої поверхні перед відвантаженням споживачеві.

Поточний стан, модернізація та автоматизація цеху – розвиток ЦХП ПАТ «Запоріжсталь» на сучасному етапі базується на засадах цифрової трансформації, енергоефективності та підвищення конкурентоспроможності продукції:

Стабільність виробництва та сертифікація: За підсумками звітних періодів 2024-2025 років комбінат суттєво наростив обсяги виробництва, збільшивши загальне відвантаження готового прокату на 16,7% порівняно з попередніми кризовими роками. У квітні 2026 року підприємство успішно та в повному обсязі пройшло наглядовий ресертифікаційний аудит на відповідність жорстким європейським стандартам якості EN 10130 для холоднокатаного плоского прокату, призначеного для холодного штампування. Це підтверджує світовий рівень продукції ЦХП.

Розширення марочного та розмірного сортаменту: Протягом останніх років фахівці цеху успішно опанували промисловий випуск нових високозатребуваних видів холоднокатаного рулону. Зокрема, було освоєно виробництво конструкційної сталі марки S250GD для будівельних профілів та тонколистової сталі підвищеної точності DC01 товщиною до 2,5 мм із жорсткими допусками щодо різнотовщинності.

Технічне обслуговування та модернізація САРПФ: Навіть у складних умовах обмеженого фінансування та воєнних ризиків, у цеху безперервно проводяться планові капітальні ремонти, модернізація гідравлічних систем натискних пристроїв та впровадження елементів АСУ ТП. Особлива увага приділяється системам автоматичного регулювання профілю та форми штаби (САРПФ). Встановлення лазерних систем вимірювання швидкостей та товщин

на реверсивному стані 1200 дозволило мінімізувати частку поздовжньої та поперечної різнотовщинності.

Таким чином, цех холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» на сьогоднішньому етапі є передовим, гнучким та високотехнологічним підрозділом української металургії. Наявний комплекс обладнання та рівень кваліфікації персоналу дозволяють впевнено та безаварійно реалізовувати складні технологічні процеси прокатки тонких штаб товщиною 0,6 мм та шириною 1030 мм із напівспокійної сталі 08пс. Готова продукція цеху повністю відповідає жорстким вимогам як національних стандартів ДСТУ, так і міжнародних нормативів якості, гарантуючи високу планшетність листа для автомобільної та машинобудівної галузей.

1.2. Технічна характеристика обладнання стану

Реверсивний стан 1200 холодної прокатки призначений для виробництва тонколистової сталі (штаби) високої точності. Обладнання дозволяє здійснювати деформацію металу в декілька проходів завдяки реверсивній роботі головного приводу та моталок. Основні параметри стану, його енергосилові показники та режими роботи систематизовані у наступних таблицях

Таблиця 1.1 – Параметри продукції та заготовки

Параметр	Значення
Матеріал (марки сталі)	Вуглецеві сталі (08кп, 08пс, Ст3 та ін.)
Товщина підкату (вхідна), мм	2,0 - 4,5
Товщина готової штаби (вихідна), мм	0,2 - 2,0
Ширина штаби (max), мм	1050 (конструктивна до 1200)
Вага рулону, т	до 15 - 20
Зовнішній діаметр рулону, мм	до 1800

Представлені технологічні та конструктивні характеристики є основою для точного розрахунку режимів обтиснення та оптимального завантаження головних електродвигунів під час прокатки різних марок сталі. Аналіз цих показників дозволяє максимізувати продуктивність стану, мінімізувати витрати енергії та забезпечити стабільну якість готової листової продукції.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики валкової системи (стан «кварто

Найменування валків	Діаметр, мм	Довжина бочки, мм	Матеріал / Тип підшипника
Робочі валки	480 - 500	1200	Сталь 9Х2, 9Х2МФ
Опорні валки	1250 - 1300	1200	Підшипники(рідинного тертя)

Стан оснащений потужним електроприводом постійного струму, що забезпечує стабільність процесу на високих швидкостях

Таблиця 1.3 – Енергосилові та швидкісні показники

Показник	Одиниця виміру	Значення
Максимальна швидкість прокатки	м/с	12 - 15
Максимальне зусилля прокатки (Р)	МН (тс)	15 - 20 (1500- 2000)
Потужність головного двигуна	кВт	2500 - 4500
Зусилля натягу моталками	кН	до 200
Тип головного приводу	-	Двигун постійного струму

Технологічний процес передбачає послідовне зменшення товщини штаби. У таблиці 1.4 наведено типовий маршрут прокатки з товщини 3,0 мм до 0,8 мм.

Таблиця 1.4 – Маршрут прокатки та розподіл обтиснень

Номер проходу	Товщина на виході, мм	Абсолютне обтиснення, мм	Відносне обтиснення, %	Швидкість, м/с
1	2,10	0,90	30,0	2,0
2	1,50	0,60	28,5	5,0
3	1,10	0,40	26,6	8,0
4	0,85	0,25	22,7	10,0

Детальний аналіз наведених параметрів і режимів роботи обладнання є ключовим етапом для комплексного оцінювання енергоефективності стану 1200. Отримані результати систематизації дозволяють перейти до безпосереднього моделювання технологічних процесів холодної прокатки.

1.3. Опис конструкції та роботи основного обладнання стану

Реверсивний стан 1200 спроєктований за схемою «Кварто», що дозволяє поєднувати високу жорсткість кліті з можливістю використання робочих валків порівняно невеликого діаметра для інтенсивної деформації тонкої штаби.

Головним вузлом стану є робоча кліть, що складається з двох масивних сталевих станин, встановлених на плитовинах. В середині станин розташовані подушки опорних та робочих валків. Механізм встановлення валків (Натискний пристрій): Електромеханічний або гідравлічний (на сучасних модифікаціях), призначений для регулювання зазору між валками та створення необхідного зусилля прокатки. Гідровигин робочих валків: – система противигину дозволяє оперативно керувати профілем валків під час прокатки для забезпечення ідеальної площинності штаби. Енергія від головного двигуна передається до валків через наступні вузли: Редуктор та комбінована шестерінна кліть розподіляють крутний момент між верхнім та нижнім

робочими валками. Шпинделі: передають обертання від шестерінної кліті до валків, компенсуючи зміну відстані між ними при зносі або перевалці.

Оскільки стан реверсивний, він оснащений двома потужними барабанними моталками (зліва та справа від кліті). Моталки не лише змотують полосу, а й створюють значний передній та задній натяг (до 200 кН). Це необхідно для зниження питомого тиску на валки, стабілізації положення штаби в центрі валків та підвищення точності товщини.

Система змащування та охолодження (СЗГ) забезпечує подачу технологічної емульсії в зону деформації. Це запобігає перегріву валків та налипанню металу, а також знижує коефіцієнт тертя.

Система автоматизації (АСУ ТП) включає в себе радіоізотопні товщиноміри та датчики натягу. Дані з них надходять у систему автоматичного регулювання товщини (САРТ), яка в реальному часі коригує положення натискних пристроїв. Таким чином, комплексна взаємодія механічних, гідравлічних та автоматизованих систем забезпечує стабільність процесу прокатки, високу точність геометричних параметрів штаби та підвищення якості готової металопродукції.

Таблиця 1.5 – Основні вузли та їх призначення

Вузол стану	Призначення
Станини кліті	Сприйняття зусилля прокатки (до 2000 тс)
Барабани моталок	Створення натягу та змотування штаби в рулон
Емульсійна установка	Охолодження валків та змащення зони деформації
Товщиноміри	Безперервний контроль товщини на швидкостях до 15 м/с

Отже, представлена структура основних вузлів та засобів автоматизації реверсивного стану 1200 демонструє високий рівень інтеграції механічного обладнання з контрольно-вимірювальними приладами. Комплексне поєднання функцій силових елементів кліті, систем охолодження та контурів АСУ ТП є ключовим фактором для забезпечення безперервності процесу холодної прокатки та стабільної точності геометричних параметрів готової штаби.

1.4. Технологічний процес прокатки

Технологічний процес на реверсивному стані 1200 базується на принципі багатопрохідної холодної деформації штаби між робочими валками з використанням великих питомих натягів.

Підготовчі операції: приймання підкату – гарячекатані травлені рулони подаються зі складу до завантажувального пристрою стану (розмотувача); центрування та заправка – передній кінець штаби подається в робочу кліть на низькій заправній швидкості (0,5-1,5 м/с). Після проходження кліті кінець штаби закріплюється в захваті барабана правої моталки. Натяг – створюється початковий натяг, необхідний для стабілізації процесу.

Прокатка здійснюється за кілька реверсивних циклів (зазвичай 3-5 проходів): парні проходи (1, 3, 5): метал рухається зліва направо (на праву моталку); непарні проходи (2, 4): метал рухається справа наліво (на ліву моталку). У кожному проході оператор або автоматична система (САРТ) встановлює заданий зазор між валками та величину натягу згідно з технологічною картою.

.Для зниження коефіцієнта тертя та запобігання термічному розширенню валків на штабу та валки безперервно подається технологічна емульсія (концентрація 3–5%). Система автоматично регулює подачу емульсії залежно від швидкості прокатки.

Щодо контролю якості в процесі, то протягом всього процесу здійснюється моніторинг наступних параметрів (рис. 1.1):

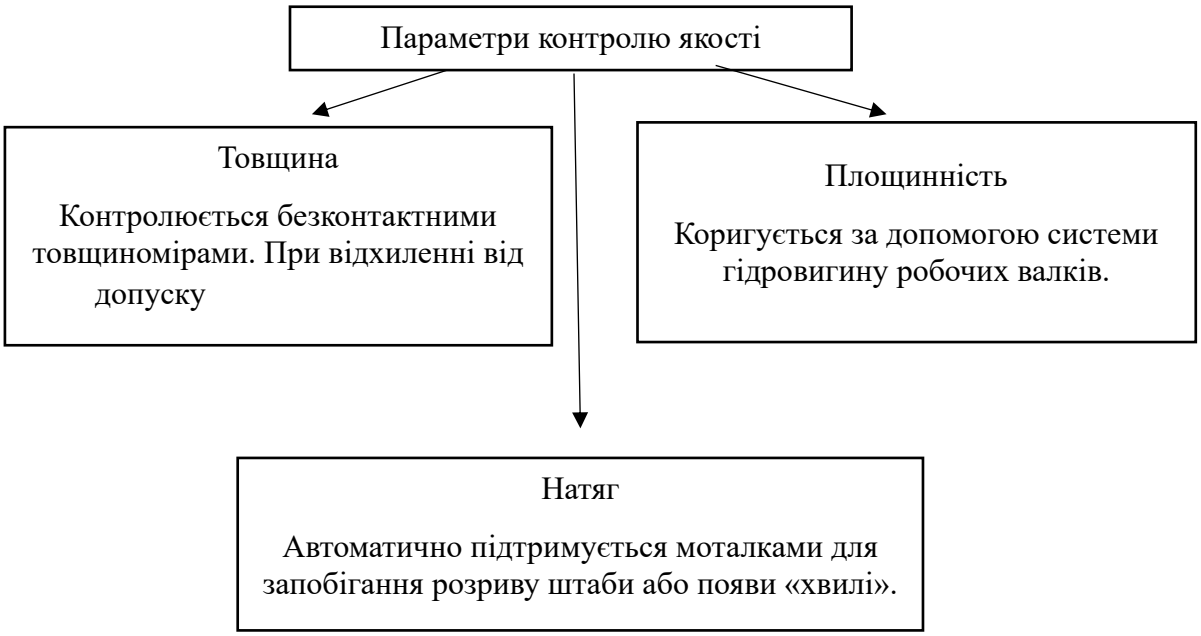


Рисунок 1.1 – Параметри контролю якості

Заключні операції полягають у змотуванні, де після останнього (чистового) проходу задня кромка штаби виходить з кліті. Зняття рулону – готовий рулон знімається з барабана моталки за допомогою розвантажувального візка. Маркування – рулон маркується із зазначенням номера плавки, марки сталі та фактичної товщини, після чого відправляється на подальшу термічну обробку (відпал).

1.5. Види браку та засоби їх усунення

Брак при холодній прокатці штаби поділяється на поверхневий, геометричний та дефекти внутрішньої структури. Основні види браку та способи їх усунення наведені в таблиці 1.6.

Засоби забезпечення якості: оперативний контроль, підготока інструменту, контроль емульсії. Оперативний контроль полягаю у використанні товщиномірів та засобів візуального контролю поверхні під час прокатки. Підготовка інструменту – жорсткий регламент шліфування та підготовки робочих валків у вальцешліфувальному цеху. Контроль емульсії –

постійний аналіз складу та температури охолоджуючої рідини для запобігання корозії та забруднення.

Таблиця 1.6 – Види браку, причини виникнення та способи усунення

Вид браку	Опис та причини виникнення	Способи усунення та попередження
Різнотовщинність	Відхилення товщини по довжині або ширині штаби. Причини: неточне налаштування валків, коливання натягу.	Використання САРТ (системи автоматичного регулювання товщини), перевірка стану натискних пристроїв.
Неплощинність (хвиля, коробистість)	Нерівномірна деформація по ширині штаби. Причини: неправильна профільовка валків.	Регулювання системи гідровигину робочих валків, зміна натягу моталками.
Натиски (відбитки)	Повторювані пошкодження поверхні. Причини: налипання металу на валки або пошкодження поверхні валків.	Своєчасна перевалка валків, шліфування, посилення фільтрації технологічної емульсії.
Подряпини (риски)	Поздовжні сліди на поверхні. Причини: тертя штаби об нерухомі частини стана (проводки, лінійки).	Перевірка та заміна зношених проводок, регулювання центруючих пристроїв.
Рванини країв	Тріщини та розриви на кромці штаби. Причини: незадовільна якість країв підкату, надмірні натяги.	Зменшення натягу, контроль якості обрізки країв на агрегатах поздовжнього різання.
Емульсійні плями	Темні плями на поверхні. Причини: неякісне видалення емульсії перед змотуванням рулону.	Регулювання повітряних ножів (обдуву) для видалення залишків рідини перед моталкою.

Отже, ефективне застосування оперативного контролю, своєчасна підготовка робочого інструменту та постійний моніторинг параметрів технологічної емульсії дозволяють мінімізувати виникнення дефектів прокату, забезпечити стабільність технологічного процесу та підвищити рівень якості готової продукції.

1.6. Розробка заходів підвищення якості жерсті

Найбільш критичним дефектом при виробництві тонкої жерсті на стані 1200 є «неплощинність» (коробистість, крайова або серединна хвиля). Для усунення цього браку пропонується впровадження інтелектуальної системи контролю на базі ролика-планшетноміра (рис. 1.2).

Замість звичайного відхиляючого ролика на виході зі стану встановлюється спеціальний сенсорний ролик-планшетномір. Його бочка розділена на окремі вимірювальні сегменти (зони), кожен з яких оснащений високочутливими датчиками тиску.

При проходженні натягнутої штаби через ролик, ділянки з різною довжиною волокон (що і є причиною хвилі) тиснуть на сегменти ролика з різною силою. Система миттєво обчислює розподіл натягу по ширині полоси та візуалізує «профіль планшетності» на моніторі оператора. Отриманні дані автоматично передаються в контур керування для оперативного коригування противигину робочих валків та секційного охолодження їхньої бочки. Така динамічна оптимізація геометрії міжвалкового зазору дозволяє компенсувати нерівномірність деформації безпосередньо під час прокатки. У підсумку, впровадження інтелектуального контролю забезпечує ліквідацію дефектів неплощинності та гарантує відповідність тонкої жерсті суворим стандартам якості.

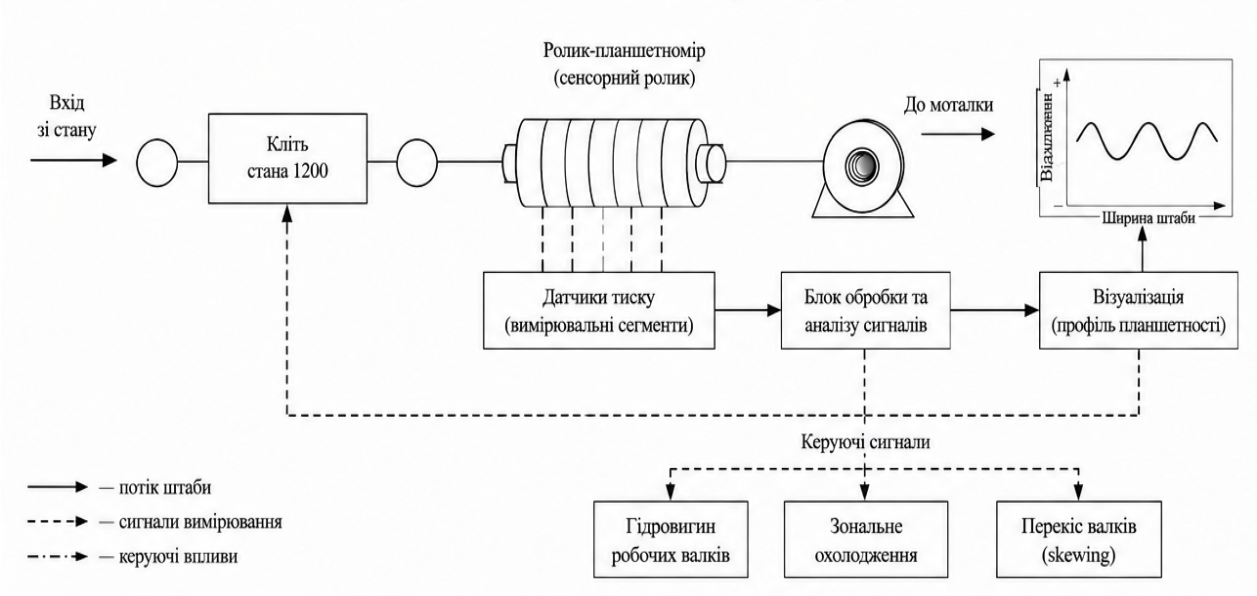


Рисунок 1.2 – Функціональна схема автоматичного регулювання

Отримані дані в режимі реального часу передаються на виконавчі механізми стана для миттєвої корекції, зокрема для гідровигину робочих валків, коли при фіксації системою «серединної хвилі» автоматично збільшується тиск у циліндрах противигину і розпірні сили компенсують прогин валків. Водночас здійснюється зональне охолодження шляхом керування подачею емульсії на конкретні ділянки валка, наприклад, охолодження країв валка зменшує їх теплове розширення, що ефективно усуває «крайову хвилю». Крім того, забезпечується перекіс валків за допомогою корекції положення натискних гвинтів для вирівнювання натягу з правого чи лівого боку штаби.

Така комплексна та багатокритеріальна стабілізація процесу прокатки дозволяє мінімізувати вплив людського фактора на керування геометрією смуги. Завдяки автоматичному поєднанню цих трьох керуючих впливів досягається максимальна точність профілю навіть при високих швидкостях деформації. У кінцевому підсумку, це не лише кардинально знижує відсоток браку через неплощинність, а й підвищує загальну продуктивність стану за рахунок зменшення кількості технологічних зупинок (рис. 1.3.).

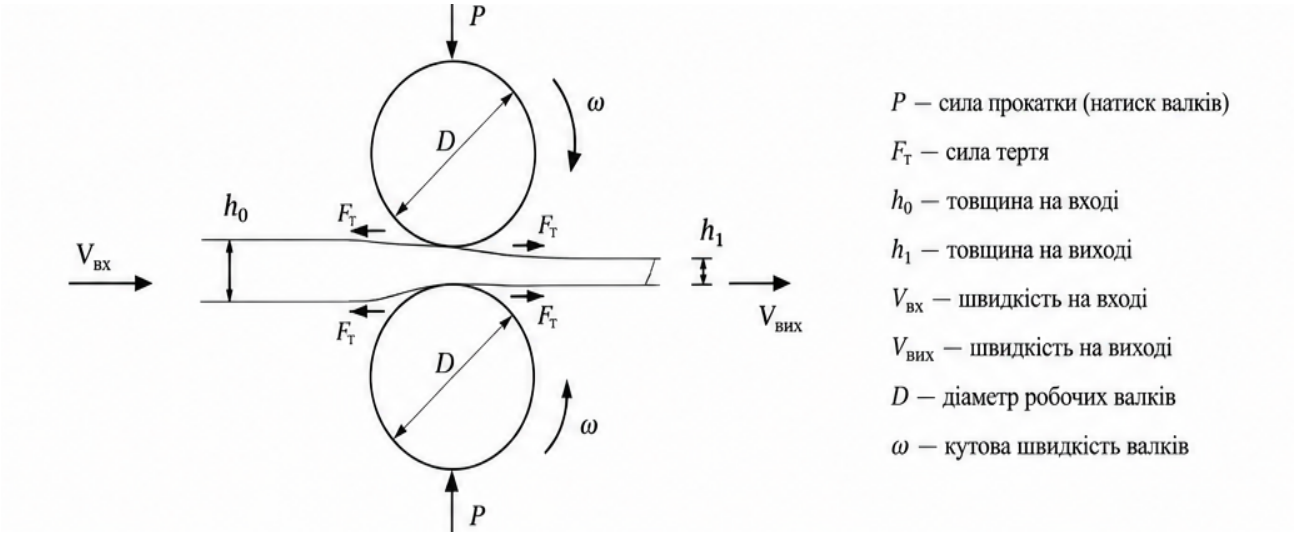


Рисунок 1.3 – Схема прикладання зусиль гідровигину ($F_{изг}$) в подушках робочих валків стану 1200 для компенсації пружної деформації.

Очікуваний ефект від впровадження запропонованої автоматичної системи регулювання планшетності (САРП) базується на комплексному інженерному підході і включає три основні взаємопов'язані чинники.

По-перше, це суттєве зниження технологічного браку полоси. Впровадження сегментного ролика-планшетноміра дозволяє зменшити відсів холоднокатаної жерсті за дефектами «хвиля» (крайова та серединна) та «коробистість» на 40–60%. Це досягається завдяки миттєвій передачі сигналу розбалансу натягу по ширині штаби на виконавчі механізми противигину робочих валків та блоки зонального охолодження екранів.

Подруге, відбувається суттєве підвищення продуктивності та швидкісного режиму агрегату. Оператор або автоматична система отримує можливість вести прокатку на максимальних паспортних швидкостях стану (до 15 м/с) без ризику раптового розриву штаби. Раніше через нерівномірний розподіл питомих натягів виникали локальні перенапруження на кромках, що призводило до обривів полоси, тривалих простоїв стану та пошкодження поверхні робочих валків. Нова система повністю нівелює цей фактор.

По-третє, забезпечується висока стабільність геометричних параметрів для кінцевого споживача. Отримання жерсті з «ідеальною» площинністю дозволяє підприємствам-замовникам використовувати готові рулони на сучасних високошвидкісних автоматичних лініях з виробництва консервної тари та банок. Матеріал проходить через штампувальне та лакувальне обладнання без ризику заклинювання, деформації або аварійних зупинок ліній.

Для наочної оцінки доцільності модернізації реверсивного стану 1200 в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» було проведено порівняльний аналіз технічних характеристик. Конкретні порівняльні дані, які відображають стан виробництва до реконструкції та очікувані результати після неї, зведені в таблиці 1.7.

Показник якості	До впровадження	Після впровадження
Допуск на відхилення від площинності	10 - 12 I-unit	2 - 4 I-unit
Вихід придатної жерсті 1-го класу	88%	96%
Ризик розриву штаби (обривність)	Середній	Мінімальний

Таким чином, наведені порівняльні дані наочно підтверджують високу технологічну та економічну ефективність модернізації стану 1200. Впровадження інтелектуальної системи регулювання дозволяє радикально знизити відхилення від площинності (до 2-4 I-unit) та мінімізувати ризик обриву штаби на максимальних швидкостях прокатки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок режиму обтисків

Розподіл коефіцієнтів обтисків по проходах:

$$\eta_{заг} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5$$

$$0{,}73 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}77 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}80 = 0{,}273$$

Визначення товщини металу по проходах.

$$h_i = h_{i-1} \cdot \eta_i$$

h_{i-1} − товщина металу до прохода, мм;

h_i − товщина металу після проходу, мм;

η_i− обтиск в проході.

$$h_1 = 2{,}2 \cdot 0{,}73 = 1{,}606 \text{ мм},$$
$$h_2 = 1{,}606 \cdot 0{,}75 = 1{,}205 \text{ мм},$$
$$h_3 = 1{,}205 \cdot 0{,}77 = 0{,}928 \text{ мм},$$
$$h_4 = 0{,}928 \cdot 0{,}81 = 0{,}752 \text{ мм},$$
$$h_5 = 0{,}752 \cdot 0{,}80 = 0{,}602 \text{ мм}.$$

Приймаємо:

$$h_5 = 0{,}6 \text{ мм}.$$

Визначення абсолютного обтиску:

$$\Delta h_i = h_{i-1} - h_i,$$
$$\Delta h_1 = 2{,}2 - 1{,}606 = 0{,}594 \text{ мм},$$
$$\Delta h_2 = 1{,}606 - 1{,}205 = 0{,}401 \text{ мм},$$

$$\Delta h_3 = 1{,}205 - 0{,}928 = 0{,}277 \text{ мм},$$
$$\Delta h_4 = 0{,}928 - 0{,}752 = 0{,}176 \text{ мм},$$
$$\Delta h_5 = 0{,}752 - 0{,}602 = 0{,}150 \text{ мм}.$$

Визначення відносного обтиску за прохід:

$$\varepsilon hi = \Delta h_i / h_{i-1} \cdot 100\%,$$
$$\varepsilon h_1 = 0{,}594 / 2{,}2 \cdot 100\% = 27{,}0\%,$$
$$\varepsilon h_2 = 0{,}401 / 1{,}606 \cdot 100\% = 25{,}0\%,$$
$$\varepsilon h_3 = 0{,}277 / 1{,}205 \cdot 100\% = 23{,}0\%,$$
$$\varepsilon h_4 = 0{,}176 / 0{,}928 \cdot 100\% = 19{,}0\%,$$
$$\varepsilon h_5 = 0{,}150 / 0{,}752 \cdot 100\% = 20{,}0\%.$$

Визначення сумарного відносного обтиску:

$$\sum \varepsilon h = (h_0 - h_i) / h_0 \cdot 100\%,$$
$$\sum \varepsilon h_1 = (2{,}2 - 1{,}606) / 2{,}2 \cdot 100\% = 27{,}0\%,$$
$$\sum \varepsilon h_2 = (2{,}2 - 1{,}205) / 2{,}2 \cdot 100\% = 45{,}2\%,$$
$$\sum \varepsilon h_3 = (2{,}2 - 0{,}928) / 2{,}2 \cdot 100\% = 57{,}8\%,$$
$$\sum \varepsilon h_4 = (2{,}2 - 0{,}752) / 2{,}2 \cdot 100\% = 65{,}8\%,$$
$$\sum \varepsilon h_5 = (2{,}2 - 0{,}602) / 2{,}2 \cdot 100\% = 72{,}6\%.$$

Визначення кута захоплення.

$$\alpha_i = \sqrt{(\Delta h_i / R)} \cdot 57{,}3,$$

де R = 250 мм — радіус робочого валка.

$$\alpha_1 = \sqrt{(0{,}594 / 250)} \cdot 57{,}3 = 2{,}79°,$$
$$\alpha_2 = \sqrt{(0{,}401 / 250)} \cdot 57{,}3 = 2{,}29°,$$
$$\alpha_3 = \sqrt{(0{,}277 / 250)} \cdot 57{,}3 = 1{,}91°,$$
$$\alpha_4 = \sqrt{(0{,}176 / 250)} \cdot 57{,}3 = 1{,}52°,$$
$$\alpha_5 = \sqrt{(0{,}150 / 250)} \cdot 57{,}3 = 1{,}40°.$$

Визначення швидкості прокатки.

Приймаємо швидкість у останньому проході:

$$v_5 = 12 \text{ м/с}.$$

Швидкість у попередніх проходах:

$$v_i = h_5 \cdot v_5 / h_i.$$

$$v_4 = (0{,}6 \cdot 12) / 0{,}752 = 9{,}57 \text{ м/с},$$

$$v_3 = (0{,}6 \cdot 12) / 0{,}928 = 7{,}76 \text{ м/с},$$

$$v_2 = (0{,}6 \cdot 12) / 1{,}205 = 5{,}98 \text{ м/с},$$

$$v_1 = (0{,}6 \cdot 12) / 1{,}606 = 4{,}48 \text{ м/с}.$$

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку режиму обтисків

№ прох.	h(i-1), мм	h(i), мм	Δh, мм	ε_h, %	Σεh, %	α, °	v, м/с
1	2,2	1,606	0,594	27,0	27,0	2,79	4,48
2	1,606	1,205	0,401	25,0	45,2	2,29	5,98
3	1,205	0,928	0,277	23,0	57,8	1,91	7,76
4	0,928	0,752	0,176	19,0	65,8	1,52	9,57
5	0,752	0,602	0,150	20,0	72,6	1,40	12,0

2.2. Розрахунок зусилля прокатки

Розрахунок зусилля прокатки вироблюваний по методу М. Стоуна:

$$P = p_{(ср)} \cdot F,$$

де:

$p_{(ср)}$ – контактний тиск, МН/м² (Н/мм²);

F – площа контактної поверхні, мм².

Визначаємо довжину осередка деформації:

$$l_i = \sqrt{(R \cdot \Delta h_i)},$$

$$l_1 = \sqrt{(250 \cdot 0{,}594)} = 12{,}19 \text{ мм},$$

$$l_2 = \sqrt{(250 \cdot 0{,}401)} = 10{,}01 \text{ мм},$$

$$l_3 = \sqrt{(250 \cdot 0{,}277)} = 8{,}32 \text{ мм},$$

$$l_4 = \sqrt{(250 \cdot 0{,}176)} = 6{,}63 \text{ мм},$$

$$l_5 = \sqrt{(250 \cdot 0{,}150)} = 6{,}12 \text{ мм}.$$

Визначаємо середню висоту осередка деформації:

$$h_{ci} = (h_{i-1} + h_i) / 2,$$

$$h_{c1} = (2{,}2 + 1{,}606) / 2 = 1{,}903 \text{ мм},$$

$$h_{c2} = (1{,}606 + 1{,}205) / 2 = 1{,}406 \text{ мм},$$

$$h_{c3} = (1{,}205 + 0{,}928) / 2 = 1{,}067 \text{ мм},$$

$$h_{c4} = (0{,}928 + 0{,}752) / 2 = 0{,}840 \text{ мм},$$

$$h_{c5} = (0{,}752 + 0{,}600) / 2 = 0{,}676 \text{ мм}.$$

Визначаємо коефіцієнт тертя (f_i) згідно з формулою:

Для емульсії $K_{fi} = 1$, стан поверхні $K_{ni} = 1$.

$f_1 = 0{,}055$ (для v = 4,48 м/с),

$f_2 = 0{,}052$ (для v = 5,98 м/с),

$f_3 = 0{,}049$ (для v = 7,76 м/с),

$f_4 = 0{,}047$ (для v = 9,57 м/с),

$f_5 = 0{,}045$ (для v = 12,0 м/с).

Визначаємо першу номографічну величину

$$x_i = (f_i \cdot l_i) / h_{ci},$$

$$x_1 = (0{,}055 \cdot 12{,}19) / 1{,}903 = 0{,}352,$$
$$x_2 = (0{,}052 \cdot 10{,}01) / 1{,}406 = 0{,}370,$$
$$x_3 = (0{,}049 \cdot 8{,}32) / 1{,}067 = 0{,}382,$$
$$x_4 = (0{,}047 \cdot 6{,}63) / 0{,}840 = 0{,}371,$$
$$x_5 = (0{,}045 \cdot 6{,}12) / 0{,}676 = 0{,}407.$$

За графіком межі текучості σ_s для сталі 08пс:

$$\sigma_{s0} = 240 \text{ Н/мм}^2 \text{ (при } \varepsilon = 0\%),$$
$$\sigma_{s1} = 485 \text{ Н/мм}^2 \text{ (при } \Sigma\varepsilon = 27{,}0\%),$$
$$\sigma_{s2} = 580 \text{ Н/мм}^2 \text{ (при } \Sigma\varepsilon = 45{,}2\%),$$
$$\sigma_{s3} = 640 \text{ Н/мм}^2 \text{ (при } \Sigma\varepsilon = 57{,}8\%),$$
$$\sigma_{s4} = 685 \text{ Н/мм}^2 \text{ (при } \Sigma\varepsilon = 65{,}8\%),$$
$$\sigma_{s5} = 720 \text{ Н/мм}^2 \text{ (при } \Sigma\varepsilon = 72{,}7\%).$$

Визначаємо натяг кінців смуги:

$$\sigma_{di} = 0{,}3 \cdot \sigma_{si},$$
$$\sigma_{d0} = 72 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{d1} = 145 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{d2} = 174 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{d3} = 192 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{d4} = 205 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{d5} = 216 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо середній натяг:

$$\sigma_{cp.i} = (\sigma_{d(i-1)} + \sigma_{di}) / 2,$$
$$\sigma_{cp.1} = 108{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{cp.2} = 159{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{cp.3} = 183{,}0 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{cp.4} = 198{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$
$$\sigma_{cp.5} = 210{,}5 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо опір деформації:

$$k_i = (\sigma s(i-1) + \sigma si) / 2,$$

$$k_1 = 362{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$

$$k_2 = 532{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$

$$k_3 = 610{,}0 \text{ Н/мм}^2,$$

$$k_4 = 662{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$

$$k_5 = 702{,}5 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо коефіцієнт впливу натягу:

$$n_{\sigma i} = 1 - \sigma_{cp.i} / (1{,}15 \cdot k_i),$$

$$n_{\sigma 1} = 0{,}74,$$

$$n_{\sigma 2} = 0{,}74,$$

$$n_{\sigma 3} = 0{,}74,$$

$$n_{\sigma 4} = 0{,}74,$$

$$n_{\sigma 5} = 0{,}74.$$

Коефіцієнт Стоуна:

$$n_s' = (e^x - 1) / x,$$

$$n_{s1}' = 1{,}20,$$

$$n_{s2}' = 1{,}21,$$

$$n_{s3}' = 1{,}22,$$

$$n_{s4}' = 1{,}21,$$

$$n_{s5}' = 1{,}23.$$

Контактний тиск:

$$p_{(cp)i} = k_i \cdot 1{,}15 \cdot n_s' \cdot n\sigma_i,$$

$$p_{(cp)1} = 370{,}1 \text{ Н/мм}^2,$$

$$p_{(cp)2} = 548{,}5 \text{ Н/мм}^2,$$

$$p_{(cp)3} = 633{,}2 \text{ Н/мм}^2,$$

$$p_{(ср)4} = 682{,}4 \text{ Н/мм}^2,$$

$$p_{(ср)5} = 735{,}4 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаємо площу контакту:

$$F_i = B \cdot l_i,$$

$$F_1 = 1030 \cdot 12{,}19 = 12555{,}7 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 1030 \cdot 10{,}01 = 10310{,}3 \text{ мм}^2,$$

$$F_3 = 8569{,}6 \text{ мм}^2,$$

$$F_4 = 6828{,}9 \text{ мм}^2,$$

$$F_5 = 6303{,}6 \text{ мм}^2,$$

Визначаємо зусилля прокатки:

$$P_i = p_{(ср)i} \cdot F_i$$

$$P_1 = 370{,}1 \cdot 12555{,}7 = 4646864 \text{ Н} \approx 4{,}65 \text{ МН},$$

$$P_2 = 548{,}5 \cdot 10310{,}3 = 5655200 \text{ Н} \approx 5{,}66 \text{ МН},$$

$$P_3 = 633{,}2 \cdot 8569{,}6 = 5426270 \text{ Н} \approx 5{,}43 \text{ МН},$$

$$P_4 = 682{,}4 \cdot 6828{,}9 = 4659960 \text{ Н} \approx 4{,}66 \text{ МН},$$

$$P_5 = 735{,}4 \cdot 6303{,}6 = 4635667 \text{ Н} \approx 4{,}64 \text{ МН}.$$

На основі отриманих результатів розрахунку зусилля деформації та зміни механічних властивостей сталі марки 08пс побудовано графік їх залежності за проходами, який наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Графік зміни зусилля прокатки та межі текучості сталі 08пс за проходами

Максимальне зусилля прокатки виникає у 2-му проході (5,66 МН ≈ 577 тс), що значно менше допустимого для стану 1200.

2.3. Розрахунок швидкості та продуктивності стана

Чистий крутний момент прокатки (момент деформації металу) Мпр.і (Н·м) для кожного проходу визначається з урахуванням сумісної роботи двох робочих валків кліті за формулою:

$$Мпр.і = 2 \times Pі \times \psi \times lі \times 10^{-3}$$

де:

2 – коефіцієнт, що враховує роботу приводу обох робочих валків кліті;

Pі – повне зусилля прокатки в і-му проході, Н;

ψ – коефіцієнт плеча дуги деформації (для холодної прокатки з натягом приймаємо $\psi = 0{,}42$);

l_i – довжина осередка деформації в і-му проході, мм;

10^{-3} – коефіцієнт переведення міліметрів у метри для отримання кінцевої розмірності в Н·м.

Підставимо числові значення силових та геометричних параметрів за проходами у формулу:

1 прохід:

$$М_{пр.1} = 2 \times 4646864 \times 0{,}42 \times 12{,}19 \times 10^{-3} \approx 47583{,}4 \text{ Н·м.}$$

2 прохід:

$$М_{пр.2} = 2 \times 5655200 \times 0{,}42 \times 10{,}01 \times 10^{-3} \approx 47551{,}3 \text{ Н·м.}$$

3 прохід:

$$М_{пр.3} = 2 \times 5426270 \times 0{,}42 \times 8{,}32 \times 10^{-3} \approx 37923{,}1 \text{ Н·м.}$$

4 прохід:

$$М_{пр.4} = 2 \times 4659960 \times 0{,}42 \times 6{,}63 \times 10^{-3} \approx 25952{,}5 \text{ Н·м.}$$

5 прохід:

$$М_{пр.5} = 2 \times 4635667 \times 0{,}42 \times 6{,}12 \times 10^{-3} \approx 23831{,}4 \text{ Н·м.}$$

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший крутний момент деформації діє у першому та другому проходах (близько 47,5 кН·м), що обумовлено максимальними значеннями довжини осередка деформації та контактного зусилля на початкових етапах обтиснення сталі 08пс.

Потужність на валу головного електродвигуна робочої кліті $N_{дв.i}$ (кВт), необхідна для реалізації процесу деформації металу в кожному проході, визначається за формулою:

$$N_{дв.i} = (2 \times М_{пр.i} \times v_{в.i} / R) \times 10^{-3}$$

де:

$М_{пр.i}$ – крутний момент прокатки в і-му проході, Н·м;

$v_{в.i}$ – лінійна швидкість обертання робочих валків в і-му проході, м/с;

R –номінальний радіус робочих валків стана (R = 0,25 м);

10^{-3} – коефіцієнт переведення отриманого результату з Ватт у Кіловати.

Підставимо числові значення крутних моментів деформації та швидкостей за проходами у формулу:

1 прохід:

$$N_{дв.1} = (2 \times 47583{,}4 \times 4{,}48 / 0{,}25) \times 10^{-3} \approx 1705{,}3 \text{ кВт.}$$

2 прохід:

$$N_{дв.2} = (2 \times 47551{,}3 \times 5{,}98 / 0{,}25) \times 10^{-3} \approx 2275{,}1 \text{ кВт.}$$

3 прохід:

$$N_{дв.3} = (2 \times 37923{,}1 \times 7{,}76 / 0{,}25) \times 10^{-3} \approx 2354{,}3 \text{ кВт.}$$

4 прохід:

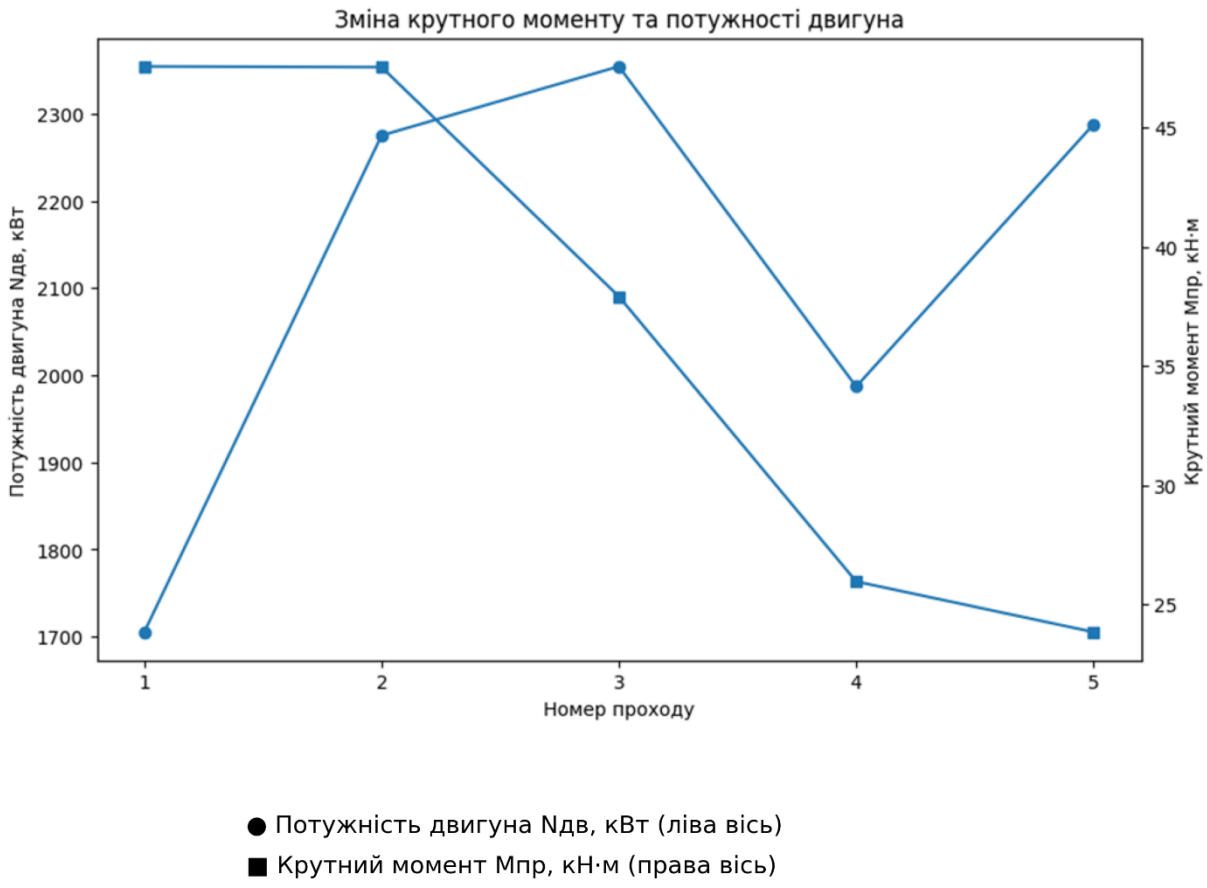
$$N_{дв.4} = (2 \times 25952{,}5 \times 9{,}57 / 0{,}25) \times 10^{-3} \approx 1986{,}9 \text{ кВт.}$$

5 прохід:

$$N_{дв.5} = (2 \times 23831{,}4 \times 12{,}00 / 0{,}25) \times 10^{-3} \approx 2287{,}8 \text{ кВт.}$$

Для комплексного аналізу енергодинамічних параметрів реверсивного стана 1200 та оцінки стабільності роботи головного приводу побудовано суміщений графік зміни крутного моменту та потужності електродвигуна (рис. 2.2).

Висновок до розрахунку:



Примітка: 1–5 – номери проходів прокатки.

Рисунок 2.2 – Графік зміни крутного моменту та необхідної потужності головного приводу стана 1200 за проходами

Максимальна необхідна потужність для деформації штаби 0,6×1030 мм зі сталі зафіксована у третьому проході і становить $N_{дв.3} \approx 2354{,}3$ кВт.

Враховуючи, що встановлена потужність головного двигуна приводу реверсивного стана 1200 ПАТ «Запоріжсталь» становить 4500 кВт, запас потужності двигуна забезпечує стабільне ведення процесу прокатки без перегріву та аварійних навантажень.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок та перевірка міцності робочих валків стану

Початкові дані

$D_р$ = 500 мм (радіус робочих валків R = 250 мм).

Довжина бочки валка L = 1200 мм.

Відстань між центрами опор підшипників Lоп = 1500 мм.

Ширина штаби B = 1030 мм.

Матеріал валка – сталь 9Х2МФ, [σзг] = 350 Н/мм².

Значення зусиль прокатки по проходах (із пункту 2.2):

$$P_1 = 4{,}65 \text{ МН} = 4{,}65 \times 10^6 \text{ Н},$$
$$P_2 = 5{,}66 \text{ МН} = 5{,}66 \times 10^6 \text{ Н},$$
$$P_3 = 5{,}43 \text{ МН} = 5{,}43 \times 10^6 \text{ Н},$$
$$P_4 = 4{,}66 \text{ МН} = 4{,}66 \times 10^6 \text{ Н},$$
$$P_5 = 4{,}64 \text{ МН} = 4{,}64 \times 10^6 \text{ Н}.$$

Визначаємо максимальний згинальний момент в центрі бочки валка.

$$M_{зг.i} = Pi \times (2 \times Lоп - B) / 8,$$
$$M_{зг.1} = (4{,}65 \times 10^6 \times (2 \times 1500 - 1030)) / 8 = 1{,}145 \times 10^9 \text{ Н·мм},$$
$$M_{зг.2} = (5{,}66 \times 10^6 \times (2 \times 1500 - 1030)) / 8 = 1{,}394 \times 10^9 \text{ Н·мм},$$
$$M_{зг.3} = (5{,}43 \times 10^6 \times (2 \times 1500 - 1030)) / 8 = 1{,}337 \times 10^9 \text{ Н·мм},$$
$$M_{зг.4} = (4{,}66 \times 10^6 \times (2 \times 1500 - 1030)) / 8 = 1{,}148 \times 10^9 \text{ Н·мм},$$
$$Mзг_{.5} = (4{,}64 \times 10^6 \times (2 \times 1500 - 1030)) / 8 = 1{,}143 \times 10^9 \text{ Н·мм}.$$

Визначаємо момент опору перерізу бочки валка.

$$W_x = \pi \times D_p^3 / 32,$$

$$W_x = (3{,}1416 \times 500^3) / 32 = 12{,}27 \times 10^6 \text{ мм}^3.$$

Визначаємо діючі напруження згину по проходах.

$$\sigma_{зг.i} = Mзг.i / Wx,$$

$$\sigma_{зг.1} = (1{,}145 \times 10^9) / (12{,}27 \times 10^6) = 93{,}3 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{зг.2} = (1{,}394 \times 10^9) / (12{,}27 \times 10^6) = 113{,}6 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{зг.3} = (1{,}337 \times 10^9) / (12{,}27 \times 10^6) = 109{,}0 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{зг.4} = (1{,}148 \times 10^9) / (12{,}27 \times 10^6) = 93{,}6 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma_{зг.5} = (1{,}143 \times 10^9) / (12{,}27 \times 10^6) = 93{,}2 \text{ Н/мм}^2.$$

3.2. Розрахунок та перевірка міцності шпинделів головної лінії

Початкові дані:

$D_{шп} = 280$ мм, $d_{шп} = 140$ мм.

Матеріал шпинделя — сталь 40ХН, $[\tau] = 120$ Н/мм².

Коефіцієнт динамічності kд = 1,4.

Коефіцієнт плеча рівнодіючої сили $\psi = 0{,}4$.

Довжина осередка деформації по проходах:

$l_1 = 12{,}19$ мм, $l_2 = 10{,}01$ мм, $l_3 = 8{,}32$ мм, $l_4 = 6{,}63$ мм, $l_5 = 6{,}12$ мм.

Визначаємо сумарний статичний момент прокатки.

$$M_{ст.i} = 2 \times Pi \times \psi \times li,$$

$$M_{ст.1} = 2 \times 4{,}65 \times 10^6 \times 0{,}4 \times 12{,}19 = 45{,}35 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{ст.2} = 2 \times 5{,}66 \times 10^6 \times 0{,}4 \times 10{,}01 = 45{,}33 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{ст.3} = 2 \times 5{,}43 \times 10^6 \times 0{,}4 \times 8{,}32 = 36{,}14 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{ст.4} = 2 \times 4{,}66 \times 10^6 \times 0{,}4 \times 6{,}63 = 24{,}72 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{ст.5} = 2 \times 4{,}64 \times 10^6 \times 0{,}4 \times 6{,}12 = 22{,}73 \times 10^6 \text{ Н·мм}.$$

Визначаємо максимальний крутний момент на одному шпинделі.

$$M_{кр.i} = (Мст.i \times kд) / 2,$$

$$M_{кр.1} = (45{,}35 \times 10^6 \times 1{,}4) / 2 = 31{,}75 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{кр.2} = (45{,}33 \times 10^6 \times 1{,}4) / 2 = 31{,}73 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{кр.3} = (36{,}14 \times 10^6 \times 1{,}4) / 2 = 25{,}30 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{кр.4} = (24{,}72 \times 10^6 \times 1{,}4) / 2 = 17{,}30 \times 10^6 \text{ Н·мм},$$

$$M_{кр.5} = (22{,}73 \times 10^6 \times 1{,}4) / 2 = 15{,}91 \times 10^6 \text{ Н·мм}.$$

Визначаємо полярний момент опору перерізу вала шпинделя.

$$W_p = (\pi \times D_{шп}^3 / 16) \times [1 - (d_{шп} / D_{шп})^4],$$

$$W_p = (3{,}1416 \times 280^3 / 16) \times [1 - (140 / 280)^4] = 4{,}04 \times 10^6 \text{ мм}^3.$$

Визначаємо діючі дотичні напруження кручення.

$$\tau i = Мкр.i / Wp,$$

$$\tau_1 = (31{,}75 \times 10^6) / (4{,}04 \times 10^6) = 7{,}86 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_2 = (31{,}73 \times 10^6) / (4{,}04 \times 10^6) = 7{,}85 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_3 = (25{,}30 \times 10^6) / (4{,}04 \times 10^6) = 6{,}26 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_4 = (17{,}30 \times 10^6) / (4{,}04 \times 10^6) = 4{,}28 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\tau_5 = (15{,}91 \times 10^6) / (4{,}04 \times 10^6) = 3{,}94 \text{ Н/мм}^2.$$

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку режиму обтисків

№ прох.	Зусилля прокатки Р, МН	Згинальний момент Мзг, 10^9 Н·мм	Напруження згину валка $\sigma_{зг}$, Н/мм²	Статичний момент М*ст*, 10^6 Н·мм	Крутний момент шпинделя Мкр, 10^6 Н·мм	Напруження кручення шпинделя τ, Н/мм²
1	4,65	1,145	93,3	45,35	31,75	7,86
2	5,66	1,394	113,6	45,33	31,73	7,85
3	5,43	1,337	109,0	36,14	25,30	6,26
4	4,66	1,148	93,6	24,72	17,30	4,28
5	4,64	1,143	93,2	22,73	15,91	3,94

3.3. Визначення годинної продуктивності стану

Годинна продуктивність реверсивного стану холодної прокатки визначається масою металу, яка прокатується за одну годину чистого часу з урахуванням пауз на заправку рулонів, реверсування та допоміжні операції.

Годинна продуктивність стану Qгод визначається за формулою:

Qгод = (3600 × G) / Тцикл, т/год

де:

G – маса одного рулону штаби, т;

Тцикл – повний час циклу прокатки одного рулону, с.

Визначаємо масу рулону штаби (G)

Маса рулону для стана 1200 при роботі з проектним сортаментом приймається:

G = 15 т

Визначаємо повний час циклу прокатки одного рулону (Тцикл)

$$T_{цикл} = \Sigma T_{маш} + \Sigma T_{рев} + T_{доп,\ с}$$

де:

$\Sigma T_{маш}$ – сумарний машинний (чистий) час прокатки по усім 5 проходах, с;

$\Sigma T_{рев}$ – сумарний час на реверсування стана між проходами, с;

$T_{доп}$ – допоміжний час на заправку нового рулону та зняття готового, с.

Розраховуємо машинний час по проходах ($T_{маш.i}$)

Довжина штаби збільшується з кожним проходом пропорційно зменшенню товщини. При початковій довжині рулону на вході L_0 = 1200 м та швидкостях із пункту 2.1:

$$T_{маш.i} = Li / vi.$$

1-й прохід:

$$L_1 = 1644 \text{ м}, v_1 = 4{,}48 \text{ м/с},$$

$$T_{маш.1} = 1644 / 4{,}48 = 367 \text{ с}.$$

2-й прохід:

$$L_2 = 2191 \text{ м}, v_2 = 5{,}98 \text{ м/с},$$

$$T_{маш.2} = 2191 / 5{,}98 = 366 \text{ с}.$$

3-й прохід:

$$L_3 = 2845 \text{ м}, v_3 = 7{,}76 \text{ м/с},$$

$$T_{маш.3} = 2845 / 7{,}76 = 367 \text{ с}.$$

4-й прохід:

$$L_4 = 3511 \text{ м}, v_4 = 9{,}57 \text{ м/с},$$

$$T_{маш.4} = 3511 / 9{,}57 = 367 \text{ с}.$$

5-й прохід:

$$L_5 = 4400 \text{ м}, v_5 = 12{,}0 \text{ м/с},$$

$$T_{маш.5} = 4400 / 12{,}0 = 367 \text{ с}.$$

Сумарний машинний час становить:

$$\Sigma T_{маш} = 367 + 366 + 367 + 367 + 367 = 1834 \text{ с}.$$

Приймаємо тривалість пауз:

Час одного реверсу (гальмування, перемикання натягу моталок, розгін) складає $t_{рев} = 4$ с. Для 5 проходів виконується 4 реверси:

$$\Sigma T_{рев} = 4 \times 4 = 16 \text{ с}.$$

Допоміжний час на завантаження підкату, заправку кінця в моталку та вивантаження готового рулону приймаємо:

$$T_{доп} = 90 \text{ с}.$$

Розраховуємо повний час циклу ($T_{цикл}$)

$$T_{цикл} = 1834 + 16 + 90 = 1940 \text{ с}.$$

Обчислюємо годинну продуктивність стану ($Q_{год}$)

$$Q_{год} = (3600 \times 15) / 1940 = 54000 / 1940 = 27{,}84 \text{ т/год}.$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-техничних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності (згідно зі статтею 1 Закону України «Про охорону праці»).

Правовою основою законодавства з охорони праці є Конституція України, Закон України «Про охорону праці», Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування», Кодекс законів про працю України (КЗпП), а також НПАОП 27.0-1.01-08 «Правила охорони праці у металургійній промисловості».

Технологічний процес холодної прокатки штаби розміром 0,6×1030 мм зі сталі 08пс на одноклітьовому реверсивному стані 1200 супроводжується дією комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів. На робочому місці вальцьовальника холодної прокатки основними з них є:

Рухомі машини та механізми: обертові елементи робочої кліті «кварто» (робочі та опорні валки), приводні шпинделі, шестеренна кліть, а також ліва та права моталки, що здійснюють змотування та розмотування рулонів вагою до 15-20 тонн. Швидкість руху штаби досягає 15-20 м/с, що створює постійну загрозу затягування в рухомі частини.

Внутрішньоцеховий транспорт: мостові крани з кліщовими захватами та рулоновози, що переміщують підкат та готову продукцію шириною 1030 мм, створюють ризик наїзду або травмування при обрушенні предметів чи вантажів.

Гострі краї металу: існує висока небезпека глибоких порізів рук та тіла об гострі кромки широкої штаби під час її заправки в кліть та на барабани

моталок.

Підвищена запиленість та загазованість: інтенсивне подавання мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) в очаг деформації під високим тиском призводить до утворення стійкого масляного туману, аерозолів та парів аліфатичних вуглеводнів у повітрі робочої зони.

Підвищений рівень шуму та вібрації: генерується головним редуктором стана, механізмами моталок та головним електродвигуном потужністю 4500 кВт. Рівень звукового тиску біля кліті становить 85-92 дБА при нормі 80 дБА.

Несприятливий мікроклімат: підвищена температура повітря в робочій зоні внаслідок деформаційного розігріву полоси (температура металу на виході зі стана сягає 90-120 °С), а також теплових виділень приводів.

Для захисту вальцьовальника від дії цих факторів застосовують системи колективного та індивідуального захисту. Засоби колективного захисту (кожухи шпинделів, підйомні захисні екрани моталок, системи вентиляції, звукоізольована кабіна оператора) захищають увесь персонал дільниці стана 1200.

Згідно з діючими Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) для працівників металургійної промисловості, вальцьовальнику стана 1200 передбачено видачу таких засобів:

1) костюм бавовняний для захисту від загальновиробничих забруднень та механічних впливів (термін носіння – 12 міс.);

2) черевики шкіряні на литій підошві з захисним жорстким підноском для запобігання травмам стопи при падінні предметів (термін носіння – 12 міс.);

3) куртка утеплена для захисту від знижених температур у зимовий період (термін носіння – 36 міс.);

4) штани утеплені (термін носіння – 36 міс.);

5) рукавиці комбіновані або рукавички з брезентовим надолонником для захисту від порізів краями штаби (термін використання – 7 дін.);

6) каска захисна оранжевого кольору для захисту голови від ударів (термін використання – 24 міс.);

7) підшоломник трикотажний під каску (термін використання – 24 міс.);

8) протишумні вкладиші (беруші) або навушники для захисту органів слуху від шуму кліті (до зносу);

9) окуляри захисні закритого типу для захисту очей від бризок МОР та окалини (до зносу);

10) респіратор протипиловий та протиаерозольний для захисту органів дихання від масляного туману (до зносу).

4.2. Заходи щодо охорони навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища та мінімізація техногенного впливу на екосистему є обов'язковою умовою при експлуатації реверсивного стана холодної прокатки 1200 у ЦХП ПАТ «Запоріжсталь». На відміну від гарячої прокатки, де основними джерелами забруднення є нагрівальні печі та колодязі, специфіка холодної обробки широкої штаби (1030 мм) полягає у виділенні аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), утворенні замасленого шламу та високому рівні шуму.

Основним джерелом викидів на дільниці стана 1200 є масляний туман, що утворюється при поданні емульсії під тиском в очаг деформації для прокатки сталі 08пс.

Для захисту повітряного басейну реалізовано такі заходи:

1) локалізація шкідливостей – безпосередньо над робочою кліттю стана та біля моталок встановлено бортові відсмоктувачі місцевої витяжної вентиляції, що запобігає поширенню парів вуглеводнів по цеху.

2) очищення викидів – видалене повітря спрямовується на багатоступеневі системи очищення. Для вловлювання масляного аерозолю замість застарілих пилоосаджувальних камер застосовуються промислові

волокнисті фільтри-туманоуловлювачі та краплевловлювачі. Ефективність очищення перед викидом в атмосферу становить 95-98%.

При деформації підкату з 2,2 мм до 0,6 мм на швидкостях до 15-20 м/с відбувається розігрів штаби за рахунок внутрішнього тертя. Температура металу на виході зі стана сягає 90-120 °С, що створює інфрачервоне випромінювання.

Для захисту персоналу впроваджено:

1) теплоізоляцію та екранування ділянок проводки металу.

2) встановлення захисних підйомних щитів та водяних завіс, що затримують теплову радіацію.

3) автоматичне охолодження валків великим об'ємом емульсії, що знижує загальну теплову напруженість навколо кліті.

Джерелом акустичного забруднення є головний електродвигун потужністю 4500 кВт, шестеренна кліть та редуктори стана 1200. Боротьба з шумом та вібрацією ведеться за такими напрямками:

1) раціоналізація обладнання – використання косозубих та шевронних передач у редукторах для плавного зачеплення, що знижує динамічні удари.

2) віброізоляція – влаштування масивних монолітних залізобетонних фундаментів під кліть та привід, відокремлених від фундаменту будівлі цеху віброізоляційними швами та амортизуючими прокладками.

3) звукоізоляція – повітропроводи вентиляції покриті звукопоглинальними матеріалами. Оператори стана перебувають у герметичній звукоізольованій кабіні (капсулі), а при виході до стана використовують протишумні навушники чи вкладиші.

Для виключення скидання забруднених стоків у водойми, реверсивний стан 1200 працює за замкненим оборотним циклом водопостачання. Відпрацьована емульсія не зливається в каналізацію, а надходить на очисну установку ЦХП, де проходить очищення від металевого пилу, шламу та замасленої окалини, після чого повертається в процес. Шлам та уловлені

нафтопродукти передаються на спеціалізовані підприємства для подальшої утилізації.

4.3. Правила безпечного виконання робіт вальцьовальником

Перед початком робочої зміни вальцьовальник зобов'язаний одягнути передбачений нормами, справний і чистий спецодяг, спецвзуття, захисну каску та інші необхідні засоби індивідуального захисту.

Працівник має прибути на змінно-зустрічні збори за 15 хвилин до початку роботи. Після цього необхідно отримати у змінного майстра ключ-бирки в установленому порядку. Видача ключ-бирки оформляється в журналі видачі-прийому бирок під розпис осіб, які беруть участь у прийомі-здачі зміни.

Вальцьовальник повинен ретельно оглянути робоче місце та ознайомитися із записами попередньої зміни в журналі прийому-здачі змін. Особлива увага приділяється обладнанню, в роботі якого були помічені відхилення від норми. Необхідно переконатися в справності інструменту, захисних огороджень обертових механізмів, сходів та майданчиків. Проходи, сходи та майданчики не повинні бути захаращені предметами, що утрудняють обслуговування. Працівник перевіряє перекриття стоків і каналів, які повинні бути надійно закриті кришками, а також достатність освітлення робочих місць.

Вальцьовальник в обов'язковому порядку перед початком виконання будь-якої роботи повинен провести АБВР з метою визначення можливості безпечного виконання робіт та вжиття необхідних заходів з охорони праці.

АБВР – це обов'язкова послідовність дій, яка виконується працівником (групою працівників) самостійно або за участю керівника перед початком і періодично в ході виконання робіт. Аналіз Безпеки Виконання Робіт складається з п'яти кроків:

Крок 1 – визначити джерела небезпеки, які існують або можуть виникнути в ході виконання даної роботи.

Крок 2 – оцінити можливі наслідки для людей.

Крок 3 – визначити і виконати заходи, необхідні для надійного захисту від джерел небезпеки.

Крок 4 – продумати заходи реагування при можливій нештатній ситуації.

Крок 5 – прийняти рішення про можливість почати або продовжити роботу, перевіривши виконання всіх заходів захисту від джерел небезпеки.

Перед включенням обладнання вальцьовальник повинен переконатися в наявності матеріалу для початку роботи та у відсутності сторонніх осіб у зоні дії стана. Під час включення обладнання необхідно перевірити справність сигналізації, системи електричного блокування, вантажозахоплювальних пристроїв, а також наявність і справність первинних засобів пожежогасіння. Про всі виявлені порушення охорони праці та несправності вальцьовальник повинен доповісти змінному майстру.

4.4 Санітарно-гігієнічні вимоги до виробничого середовища

Захист від шуму та вібрації, оскільки реверсивний стан 1200 ПАТ «Запоріжсталь» оснащений головним електродвигуном потужністю 4500 кВт та масивними редукторами головної лінії приводу, рівень звукового тиску на робочих місцях без застосування захисних заходів може досягати 92 дБА. Це суттєво перевищує гранично допустимий рівень (80 дБА) згідно з ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Для зниження шумового та вібраційного навантаження в проєкті реалізовано такі заходи:

Глушники шуму: вихлопні патрубки пневматичних систем стана (системи затискання рулонів, перемикання клапанів МОР) обладнуються активними глушниками шуму камери або абсорбційного типу.

Звукоізолюючі кожухи: шестеренна кліть та комбіновані редуктори закриваються знімними звукоізолюючими кожухами з листової сталі товщиною 3 мм із внутрішнім облицюванням мінераловатними плитами.

Кабіна оператора: пост керування станом проектується як кабіна-капсула з коефіцієнтом звукоізоляції не менше 30 дБ. Скління виконується з подвійного триплексу товщиною 6 мм із повітряним прошарком.

Забезпечення оптимального мікроклімату, так як параметри мікроклімату в зоні стана 1200 повинні відповідати ДСН 3.3.6.042-99. Робота вальцьовальника за важкістю відноситься до категорії IIб (середньої важкості, пов'язана з ходьбою та перенесенням вантажів до 10 кг). Через деформаційний розігрів широкої штаби 1030 мм до температури 120 °С, у повітря виділяється значна кількість конвекційного тепла.

Нормовані параметри мікроклімату для теплого періоду року становлять: температура повітря: 20-25 °С (допустима до 28 °С); відносна вологість повітря: 40–60%; швидкість руху повітря: 0,3-0,5 м/с.

Для підтримання цих параметрів кабіна оператора обов'язково оснащується автономним кондиціонером промислового виконання, а на відкритих робочих майданчиках біля моталок встановлюються агрегати повітряного душування, які подають очищене та охолоджене повітря безпосередньо у зону перебування вальцьовальника зі швидкістю 1,0-1,5 м/с.

4.4. Електробезпека при експлуатації стана 1200

Реверсивний стан 1200 є великим споживачем електроенергії з використанням високої напруги (електродвигун приводу – 6 кВ, допоміжні приводи, насоси гідравліки та системи САРПФ – 380/220 В). Відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», приміщення стана відноситься до категорії з підвищеною небезпекою через наявність струмопровідної підлоги, високої температури та масляного туману.

Проєктом передбачено такі захисні заходи від ураження електричним струмом:

1) ізоляція та недоступність струмопровідних частин: Усі високовольтні кабелі прокладаються у закритих кабельних тунелях під підлогою цеху. Шафи керування та пускова апаратура мають ступінь захисту не нижче IP54 і

замикаються на спеціальні замки, ключі від яких знаходяться у чергового електромонтера.

2) захисне заземлення. Усі металеві неструмопровідні частини обладнання (станини кліті, корпуси двигунів, рами моталок, пульти керування) приєднуються до загальноцехового контуру заземлення за допомогою сталевої смуги розміром \(40 \times 4\text{ мм}\). Схема заземлення проектується за системою TN-S.

3) локування. Двері комірок розподільчих пристроїв та шаф живлення моталок оснащуються електромагнітними блокуваннями, які вимикають напругу при спробі відкриття дверей без знеструмлення головного лінійного автомата.

4) Засоби захисту. При використанні ключ-бирочної системи та виконанні перемикань вальцьовальник зобов'язаний застосовувати діелектричний інструмент, діелектричні рукавички та килимки.

ВИСНОВКИ

1. На підставі проведеної роботи й аналізу технічної літератури встановлено, що найсучаснішим способом виробництва жерсті є холодна прокатка на потужних безперервних станах. Однак проєктування та будівництво таких нових агрегатів вимагає занадто великих капіталовкладень для підприємства.

2. Для здешевлення процесу в кваліфікаційній роботі пропонується провести часткову модернізацію діючого реверсивного стану 1200 в умовах ЦХП ПАТ «Запоріжсталь». Впровадження автоматичної системи регулювання планшетності (САРП) дозволить отримувати ідеально плоскі штаби та підняти вихід першосортної продукції до 96 %.

3. Проведені розрахунки годинної продуктивності за проєктним маршрутом прокатки показали, що реальна ефективність оновленого стана становитиме 27,84 т/год.

4. Виконані за методом М. Стоуна розрахунки енергосилових параметрів показують, що найбільш навантаженим є 2-й прохід при прокатці штаби розмірами 0,6×1030 мм зі сталі 08пс. Максимальне зусилля деформації тут досягає 5,66 МН, що не перевищує гранично-допустимих показників енергосилових параметрів прокатки.

5. Розрахунки, проведені для визначення міцнісних характеристик деталей головної лінії стана, показують на їх достатню працездатність. Напруження згину в робочому валку (113,6 Н/мм²) та кручення в шпинделі (7,86 Н/мм²) гарантують високу надійність обладнання.

6. Аналіз механічних властивостей металу в процесі деформації підтверджує інтенсивне нагартування сталі 08ПС. Межа текучої швидко зростає від початкових 240 МПа до 720 МПа на чистовому проході, що вимагає точного контролю натягу моталками та обов'язкового подальшого рекристалізаційного відпалу рулонів у ковпакових печах.

7. Попередні організаційно-економічні розрахунки доводять фінансову доцільність модернізації. За рахунок суттєвого зменшення витратного коефіцієнта металу та зниження відсортування жерсті за дефектами країв та площинності, термін окупності капітальних вкладень у систему автоматизації є мінімальним.

8. Для покращення умов праці робітників та захисту їх від шуму й масляного туману в роботі передбачено заходи з модернізації цехової аспірації, встановлення захисних кожухів та систем автоматичного контролю за станом обладнання.

9. Деякі результати цієї кваліфікаційної роботи можуть бути безпосередньо використані на діючих реверсивних станах холодної прокатки при оптимізації маршрутів деформації тонких смуг.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Середа Б. П. Обробка металевих матеріалів тиском: навч. посібник для студентів ВНЗ. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2005. 250 с.

2. Середа Б. П. Прокатне виробництво: посібник для студентів вищих навчальних закладів. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 312 с.

3. Гальченко А. В., Ніколаєв О. Г. Удосконалення процесу прокатки підкату для жерсті на реверсивному стані холодної прокатки 1200. *Науковий вісник будівництва та машинобудування*. Запоріжжя: ЗНУ, 2022. № 3 (62). С. 14–19.

4. Мазур В. Л., Саф'ян О. М. Технологія процесів холодної прокатки широких штаб: підручник для магістрів металургійних спеціальностей. Київ : Вища школа, 2011. 288 с.

5. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки металів: підручник. Донецьк : Видавництво УНІТЕХ, 2009. 488 с.

6. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н. К., Клевцов О. М. Технічна діагностика. Методи контролю та прогнозування: монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 224 с.

7. Технологічна інструкція ТІ-154-ХП1-02-2025. Сучасне виробництво холоднокатаної штаби та жерсті в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Запоріжжя: ПАТ «Запоріжсталь», 2025. 85 с.

8. Охорона праці в металургійній промисловості України: підручник для студентів металургійних спеціальностей / К. Н. Ткачук та ін. Київ: Основа, 2010. 412 с.

9. Інструкція з охорони праці для вальцівників станів холодної прокатки ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»: ІОП-045-2024. Запоріжжя: Видання ПАТ «Запоріжсталь», 2024. 24 с.

10. Середа Б. П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів та сплавів: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 302 с.

11. Пшеницин О. В. Автоматизація системи управління сучасними печами відпалу. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2006. № 10. С. 38–42.

12. Несторенко А. М. Дослідження механічних властивостей, структури та текстури листових сталей після проходження рекристалізаційного відпалу. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2000. № 2. С. 50–53.

13. Глінер Р. Ю. Порівняльна оцінка комплексу властивостей тонколистових зміцнюваних сталей. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2005. № 7. С. 26–29.

14. Штехно О. М., Яценко В. А., Фогель Б. М., Добровольський С. Е., Братусь С. О. Досвід модернізації технологічного обладнання в термічному відділенні ЦХП-1 комбінату «Запоріжсталь». *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2001. № 4. С. 46–49.

15. Кузьмінов І. І., Винокуров О. В., Сабельников Ю. О. Зниження відсортування готової жерсті за дефектом «рвана кромка» в процесі ковпакового відпалу. *Металург*. 2005. № 8. С. 63–64.

16. Богуш М. В., Кузьмінов І. І. Мікроконтролерна система управління процесом термічного відпалу в ковпакових печах. *Металург*. 2006. № 3. С. 58–60.

17. Науменко В. Д., Мішин М. П., Паршиков С. Ф. Вдосконалення існуючих режимів відпалу стрічки з легованих та вуглецевих сталей. *Сталь*. 2002. № 1. С. 68–70.

18. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічного розділу дипломних проектів. Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2004. 31 с.

19. Бойчик І. М. Економіка підприємства: навчальне видання для вузів. Київ: Атика, 2002. 480 с.

20. Покропивний С. Ф. Економіка підприємства: підручник / За ред. С. Ф. Покропивного. 2-ге вид., перероб. та доп. Київ: КНЕУ, 2001. 528 с.

21. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник для студентів. Львів : Видавництво Афіша, 2000. 350 с.

22. Перетятько В. М., Кузнецов О. П. Інноваційні системи регулювання площинності при холодній прокатці тонких смуг. *Сучасні проблеми металургії*. 2024. № 27. С. 112–118.

23. Панасейко С. П. Гігієна праці та виробнича санітарія на підприємствах: навч. посібник для студентів ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 232 с.

24. Панасейко С. П. Охорона праці (розділ «Вентиляція та кондиціонування повітря»): методичні вказівки для курсового та дипломного проектування. Запоріжжя : ЗДІА, 2002. 45 с.

25. Данченко В. М., Самсоненко О. А. Автоматизація та комп'ютерне моделювання процесів листопрокатного виробництва. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2023. № 1. С. 44–51.

26. Рижков В. Г. Електробезпека на підприємствах чорної металургії: метод. вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Металургія чорних металів» / уклад. В. Г. Рижков. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 60 с.

27. Гальченко А. В., Ніколаєв О. Г. Удосконалення процесу прокатки підкату для жерсті на реверсивному стані холодної прокатки 1200. *Науковий вісник будівництва та машинобудування*. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. № 3 (62). С. 14–19.