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)

Кваліфікаційна робота магістра

рівень вищої освіти ___другий (магістерський) рівень_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему ___«Визначення показників форми штаби при прокатці в нерегульованих клітях»_____

Виконав: студент ___2__курсу, групи *8.1363-омт*

__*Сідоров Данило Борисович*_____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація
_____
(шифр і назва)

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

Керівник _*Бєлоконь Ю.О.*_____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент __*Воденнікова О. С.*_____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

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

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти _____*другий (магістерський) рівень*_____
другий (магістерський) рівень)

Спеціальність ___*136 металургія*_____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ____***МТЕТБ***_____
_____***Ю. О. Бєлоконь***__

"__" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____*Сідоров Данило Борисович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта)____*«Визначення показників форми штаби при прокатці в нерегульованих клітях»*_____
_____

керівник роботи (проєкту)_____*Бєлоконь Юрій Олександрович*_____*д.т.н, проф.*___
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "28"___02___ 2024 року № 359-с

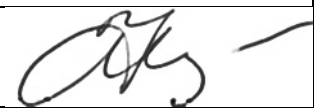
2. Строк подання студентом роботи (проєкта)____*01.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи (проєкта)__*Дослідження величини коефіцієнта вирівнювання форми листа з метою оптимізації форми активної твірної поміж валкового розхилу та режимів обтискувань для отримання пласких листів або штаб в нерегульованих прокатних клітях. Параметр оптимізації (Y) – коефіцієнт вирівнювання. Фактори оптимізації – X_1 – нерівномірність розподілу витяжок Δμ, X_2 – узагальнена витяжка μ, X_3 – зусилля прокатки Р.*_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)__*Реферат. Вступ. Літературний огляд. Розрахунково-дослідницька частина, Індивідуальне завдання, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилання.*_____
_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*Креслення, презентаційний матеріал 11 слайдах (на 11 сторінках)*_____
_____
_____
_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Літературний огляд	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Розрахунково-дослідницька частина	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Індивідуальне завдання	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Нормоконтроль	*Бондаренко Ю.В., к.т.н., доц.*	

7. Дата видачі завдання *01.03.2024*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Реферат*		
3	*Літературний огляд*		
4	*Розрахунково-дослідницька частина*		
4	*Індивідуальне завдання*		
5	*Охорона праці та техногенна безпека*		
6	*Висновки*		

Здобувач _____ *Д. Б. Сідоров*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Ю. О. Бєлоконь*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 93 с., 32 рис., 11 табл., 28 джерел.

ТЕХНОЛОГІЯ, ПЛОЩИННІСТЬ, ПІДКАТ, ТОЧНІСТЬ, ПОПЕРЕЧНИЙ ПРОФІЛЬ, ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ХВИЛЯСТІСТЬ, КОРОБЧАТІСТЬ, РІЗНОТОВЩИНІСТЬ, ЛИСТ.

Об'єкт розробки – параметри показників форми штаби при прокатці в нерегульованих клітях.

Мета роботи – теоретично визначити показники форми листових зразків до і після прокатування, скласти рівняння зміни форми під час прокатування та віднайти коефіцієнти вирівнювання форми.

У процесі експериментального дослідження визначали передатні коефіцієнти, що характеризують зв'язок між певними параметрами процесу прокатки в однопрохідний двохвалкової кліті (тиск металу на валки, випередження металу й швидкість прокатки, товщина штаби до і після прокатки). Було проведене осцилографування тиску металу на валки в процесі прокатки на стані 260. Установлення передавальних коефіцієнтів досвідченим шляхом при прокатці карток.

У результаті проведення експериментальних досліджень були перевірені та підтверджені теоретичні формули, що характеризують зв'язок профілю і форми в процесі прокатки, що дозволяють аналітично визначити ступінь впливу технології збурювання на зміни різниці витяжок по ширині штаби.

ЗМІСТ

ВСТУП.....6
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ.....8
1.1 Причини виникнення поперечної різнотовщинності та неплощинності штаби при прокатці.....8
1.2 Аналіз методів зменшення поперечної різнотовщинності та неплощинність штаби при прокатці 11
1.3 Статичні методи впливу на профіль штаби при прокатці 22
1.4 Динамічні методи профілювання штаби при прокатці 33
1.5 Регулювання форми штаби 38
2 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....41
2.1 Теоретичне обґрунтування задачі дослідження 41
2.2 Методика виконання роботи 45
2.3. Устаткування для проведення дослідів 49
3 ОБРОБКА Й ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....54
3.1 Аналіз режимів обтисків на сучасних прокатних станах ….....54
3.2 Заходи з поліпшення якості поперечного профілю 68
3.3 Математичне планування експерименту 72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА …….....81
4.1 Загальні положення охорони праці в лабораторії 81
4.2 Правила по техніці безпеки при роботі на прокатному стані.....84
4.3 Пожежна та техногенна безпека при роботі з електроустаткуванням і електроприладами ……86
4.4 Безпека праці при проведені дослідження структури металу 87
ВИСНОВКИ.....90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 91

ВСТУП

Стани холодної прокатки призначені для обробки металів у холодному стані, тобто без попереднього нагрівання перед прокаткою. Цей метод використовують у випадках, коли потрібно отримати тонку стрічку з гладкою, блискучою поверхнею, забезпечити високу точність розмірів перетину, а також досягти однорідності властивостей металу. Холодна прокатка дозволяє у широких межах регулювати механічні властивості матеріалу, підбираючи відповідний ступінь обтиснення та параметри термічної обробки. Завдяки своїм перевагам, холодна прокатка набула значного поширення, а холоднокатаний метал знайшов застосування в багатьох галузях.

Холоднокатану сталь виготовляють на безперервних і реверсивних станах. Сучасні безперервні стани зазвичай мають 4-6 робочих клітей типу кварто і забезпечують прокатку штаб товщиною від 0,1 до 3,8 мм. Їхня продуктивність досягає 1,5–2,5 млн тонн на рік. У разі меншого обсягу виробництва (150–300 тис. тонн на рік) використовують реверсивні стани, які відзначаються гнучкістю у виробничих процесах.

Реверсивні стани можуть мати робочі кліті кварто або багатовалкові кліті. Останні дозволяють виробляти штаби з мінімальною товщиною до 0,002 мм. Останнім часом почали використовувати безперервні стани з багатовалковими робочими клітями.

Процес холодної прокатки може включати всі або частину таких операцій: термічна обробка, видалення окалини, прокатка, дресирування, різання (поздовжнє або поперечне), виправлення, контроль якості, змащування, зважування та пакування готової продукції.

Ефективність роботи цеху холодної прокатки залежить від раціональної організації виробничого потоку, оптимального розташування обладнання, а також вибору найбільш економічних і технічно досконалих установок для

кожного етапу технологічного циклу. Устаткування, яке використовується на всіх етапах виробництва, постійно вдосконалюється.

Одним із ключових напрямів підвищення ефективності роботи листових і штабових станів є автоматизація виробничих процесів. Впроваджуються системи автоматичного регулювання, які забезпечують прокатку штаб і листів із мінімальними відхиленнями та заданими властивостями. На багатьох станах встановлено автоматизовані системи управління, що використовують електронно-обчислювальні машини.

Таким чином, тема магістерської роботи є актуальною, а її мета – вирішення важливого завдання підвищення якості готової продукції, що формується протягом усього технологічного циклу – від виплавки до обробки. Порушення технології на будь-якому етапі виробництва негативно впливає на якість холоднокатаного листа. Холодна прокатка та подальша термічна обробка визначають кінцеві властивості сталі, але не здатні компенсувати негативні наслідки недоліків у процесах виплавки, розливання чи гарячої прокатки.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Причини виникнення поперечної різнотовщинності та неплощинності штаби при прокатці

Головна складність при прокатці штаби зі стабільним поперечним профілем полягає у забезпеченні правильної форми прогину валків у процесі роботи. Це означає необхідність збереження прямолінійності та паралельності утворюючих валків у їхній осьовій площині. Ідеально цього можна було б досягти за умови повної жорсткості конструкції валків, рівномірного нагрівання та зношування. Однак, у реальних умовах системи мають обмежену жорсткість, тому ключовим завданням є компенсація деформацій, які виникають у валках під дією прокатних зусиль. Крім того, важливо враховувати та компенсувати нестабільність впливу на форму прогину валків у часі та по ширині штаби.

Виділяють три основних фактори, які впливають на зміну форми прогину валків, кожен із яких має свої особливості та методи компенсації: тиск металу на валки, розігрів валків та їх зношування [1, 2]. Розглянемо вплив кожного з них детальніше.

Тиск металу на валки залежить від основних параметрів, таких як обтиснення та опір деформації. У процесі безперервної прокатки значення має також натяг штаби. Усі ці параметри можуть змінюватися як у часі, так і по ширині штаби. Для зручності аналізу кожен із них можна розглядати як суму середнього постійного значення та змінного відхилення, залежного від часу і ширини штаби.

Найбільш важливим із цих параметрів є обтиснення [3]. Воно залежить від вхідної товщини штаби та налаштування розчину валків. Основним джерелом порушень є вихідна різнотовщинність штаби. Поздовжня різнотовщинність спричиняє поздовжню нестабільність обтиснення, а

поперечна — нерівномірність обтиснення по ширині штаби, навіть за правильної форми прогину валків. Як це впливає на процес?

Нестабільність обтиснення у часі призводить до коливань тиску металу на валки, що, у свою чергу, спричиняє зміни розчину валків і профілю прогину. Ці зміни впливають на величину обтиснення, але вже у напрямку його стабілізації. Таким чином, система демонструє позитивний зворотний зв'язок, що робить її стійкою.

Більш складною є ситуація з нерівномірністю обтиснення по ширині штаби. Ця нерівномірність впливає переважно на один із компонентів деформації утворюючої поверхні валка — пружне сплющування, яке пропорційне погонному зусиллю вздовж довжини бочки валка. Однак другий, ключовий компонент деформації — прогин валка через його пружний вигин — має складнішу залежність від характеру навантаження по довжині бочки. Іншими словами, форма пружної лінії валка не є пропорційною розподіленому навантаженню. Це суттєво ускладнює регулювання.

Варто зазначити [4], що профіль штаби не змінюється через паралельне переміщення валка, спричинене деформацією опор, натискних механізмів або станини. Однак ці деформації впливають на поздовжню різнотовщинність штаби. Водночас поздовжня та поперечна різнотовщинність взаємопов’язані, оскільки будь-яка деформація (вигин, розтягнення, сплющування) у межах пружності є результатом одного й того ж прокатного зусилля. Це свідчить про необхідність комплексного підходу до компенсації змінного компонента цього зусилля.

Другим важливим параметром, що визначає тиск металу на валки, є опір деформації, який фактично залежить від температури штаби [5-9]. На відміну від обтиснення, цей параметр змінюється повільніше і переважно монотонно, що дозволяє прогнозувати його зміну за допомогою екстраполяції. Найхарактерніший вплив на профіль штаби має перепад температури по ширині, що може викликати її серповидність. Часто

спостерігається також зниження температури крайок штаби порівняно з її серединою.

Третій параметр, який найважче регулювати, — це натяг [2, 3]. Його величина залежить від зусилля регулятора натягу, співвідношення швидкостей прокатки в сусідніх клітях та рівня обтиснення у цих клітях. Через це натяг вважається найбільш нестабільним серед розглянутих параметрів. Будь-які коливання в зазначених факторах спричиняють зміни натягу, що, у свою чергу, впливають на обтиснення, створюючи складну систему регулювання зі зворотним зв’язком.

Особливо серйозну проблему створює нерівномірність натягу по ширині штаби. Вона викликає нерівномірність обтиснення та витяжок по ширині штаби, що, як зазначалося раніше, негативно позначається на її площинності.

Отже, з трьох основних параметрів, що визначають тиск металу на валки, два (обтиснення та натяг) тісно взаємопов’язані, а третій — опір деформації (температура штаби) — автономний і значно більш інерційний [2, 6]. Додатковими факторами, що впливають на профіль прогину валків, є термічна деформація та зношування валків.

Термічна деформація валків виникає через нерівномірні умови контакту валка зі штабою вздовж його довжини та різну інтенсивність охолодження валків.

Що стосується зношування валків, то це найменш передбачуваний і незворотний фактор (на відміну від попередніх), який також впливає на зміну профілю валка.

На завершення важливо зазначити, що площинність штаби залежить від рівномірності обтиснення по ширині, але ця рівномірність не є обов’язковою умовою для забезпечення правильності профілю штаби [9]. У цьому контексті вирішальну роль відіграє профіль вихідної штаби. Для заготовок зі значною товщиною проблема площинності не актуальна, що створює сприятливі умови для регулювання профілю.

1.2 Аналіз методів зменшення поперечної різнотовщинності та неплощинність штаби при прокатці

Як зазначалося вище, фактори, що спричиняють поперечну різнотовщинність (перекручування профілю) та неплощинність штаби, поділяються на дві групи: постійні та змінні.

Методи і засоби усунення або часткової компенсації цих факторів класифікуються відповідно як статичні (для постійних факторів) та динамічні (для змінних факторів). Головна відмінність між цими підходами полягає в тому, що динамічні методи включають систему регулювання, яка складається з датчика, блоку порівняння з еталонними характеристиками і блоку подачі сигналу на виконавчий механізм [10]. Ефективний вплив на форму прокатуваного листа можливий лише за умов комплексного застосування як статичних, так і динамічних методів, хоча досліджувати їх слід окремо.

Це особливо важливо, оскільки статичні та динамічні методи реалізуються у різний час. Статичні методи здебільшого спрямовані на попередню компенсацію можливих збурень і застосовуються перед початком прокатки. Натомість динамічні методи впроваджуються безпосередньо під час прокатки, виконуючи функцію доповнення до статичної компенсації.

Які ж ці методи на практиці?

Одним із найпоширеніших і водночас найпростіших методів статичної компенсації впливу на профіль штаби є попереднє профілювання валків. Принцип методу дуже простий: оскільки важлива лише робоча утворююча поверхня валка, яка безпосередньо формує прогин, можна надати валкам попередньо визначену форму, що компенсує очікувану деформацію при їхньому вигині. Далі у тексті будуть детально розглянуті конкретні приклади реалізації цієї ідеї.

Другий, більш універсальний статичний метод компенсації деформації валка — це підвищення жорсткості валкової системи. Найпростішим прикладом такого підходу є використання в прокатній кліті опорних валків із

вищою жорсткістю, ніж робочі валки. Однак за сучасних вимог до точності прокатки цього методу недостатньо. Ефективним способом підвищення жорсткості конструкції є попереднє навантаження.

Цей підхід застосовується і до валкових систем [12]. Важливо уточнити, що йдеться про попереднє навантаження саме валкової системи, а не всієї кліті. Це обумовлено тим, що на профіль штаби впливає переважно деформація робочого валка. Існує багато схем попереднього напруження кліті (станини, натискного механізму, подушок), які запобігають поступальному зсуву валка, але не усувають його прогину.

Разом із тим, сказане не означає, що регулювання поздовжньої та поперечної різнотовщинності штаби є повністю незалежними процесами. Це питання буде детальніше розглянуто у відповідному розділі роботи, де обговорюються й інші методи підвищення жорсткості валкової системи.

Зазначені два статичних методи (профілювання валків та підвищення жорсткості) спрямовані на компенсацію прогину робочого валка. Одним із факторів, що можуть впливати на площинність штаби, є температурний перепад по ширині штаби.

Проте дослідження показали, що величина температурних коливань по ширині листів недостатня для суттєвого впливу на поперечну різнотовщинність. Наприклад, у найгірших умовах прокатки широких листів перепад температур досягає максимум 100 °C, що викликає додаткову різнотовщинність близько 0,002 мм. Цю величину можна вважати несуттєвою.

Статичні методи здатні компенсувати лише постійну складову факторів, що викликають збурення. Для врахування змінних у часі факторів необхідно застосовувати динамічні методи. Хоча будь-який динамічний метод може працювати як статичний за відсутності змінності факторів, статичні методи принципово не здатні трансформуватися у динамічні. Вони не можуть бути доповнені системою регулювання для реагування на збурення, що змінюються в часі.

Одним із найпотужніших сучасних динамічних методів є система протипрогину валків. Суть методу полягає у примусовому вигині валка в напрямку, що відновлює прямолінійність його робочої поверхні. Система протипрогину дозволяє регулювати зусилля, що створюються, і стежити за змінними збуреннями, компенсуючи їх у реальному часі.

Конструктивна реалізація таких систем, при простоті базової ідеї, надає широкий простір для інженерних рішень, що підтверджується численними патентами, присвяченими цьому питанню.

При всіх достоїнствах противигину властивий один недолік, щоправда, помітний лише при надзвичайному високому рівні вимог у точності профілю штаби, характерному лише для самого останнього часу. Цей недолік полягає в тім, що противигин можна міняти профіль валка, так сказати, інтегрально, у цілому, що при зміні факторів, що обурюють, і функцій ширини штаби може виявитися не достатнім.

У зв'язку із цим останнім часом зріс інтерес до систем, що дозволяють впливати на профіль валка локально, тобто варіювати, видозмінювати саму схему протинавантаження валка, а не тільки величину протинавантаження. Ці системи засновані на локальному впливі безпосередньо на бочку валка й становлять значний інтерес. Вони освітлені в розділі звіту присвяченому іншим динамічним методам впливу на профіль штаби.

До цього ж розділу віднесено і цікаве напрямки динамічного впливу на профіль штаби, пов'язане із впливом на профіль бочки валка в процесі прокатки. Вище вже говорилося, що профілювання бочки валка є сугубо статичним, попереднім методом зменшення поперечної різнотовщинности штаби. Це дійсно так, якщо мова йде про додання бочки валка потрібної форми за допомогою, наприклад, механічної обробки. Але от з'явилася ідея впливати на порожній валок внутрішнім тиском і таким шляхом віддавати бочки валка необхідну опуклість. З'явилася можливість додати, здавалося б, сугубо статичному методу динамічні риси. Виник новий напрямок. Його

перевага й недоліки, як, втім, і в інших напрямків, будуть на конкретних прикладах розглянуті нижче.

Далі, варто вказати на виникнення та розвиток принципово нових, способів прокатки, самою своєю природою помітно, що зменшує причини, появи різнотовщинності штаби і що дозволяють вишукати принципово нові методи регулювання її. Тут, у першу чергу, мова йде про процес прокатки-волочіння. До теперішнього часу цей спосіб запатентований у ряді закордонних країн на ряді із численними конструктивними рішеннями, призначеними для його реалізації.

Вище вже говорилося про нерівномірний по довжині, бочки тепловому розширенні валка, як про одній із причин появи поперечної різнотовщинності. Як протиотрута цій причині виник метод регульованого термічного впливу на профілі бочки валка, різні форми реалізації якого будуть розглянуті нижче.

Такі, загалом основні статичні й динамічні методи впливу на профілі штаби при прокатці.

У роботі [16] розроблена технологія виробництва тонких холоднокатаних штаб з поліпшеною площинністю за рахунок використання гарячекатаного підкату з регламентованими параметрами точності поперечного профілю.

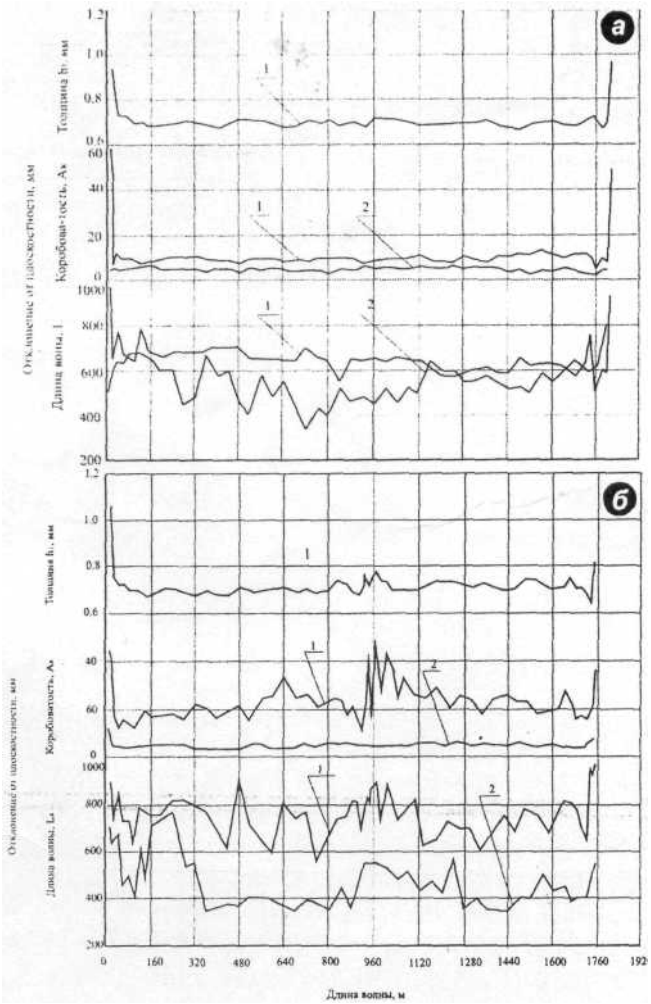


Рисунок 1.1 – Зміна товщини відхилень від площинності по довжині штаби 0,7х1000 мм (сталь 08пс), прокатаної з мінімальної (а) і з великий (б) непласкістю : 1 - після холодної прокатки: 2 - після дресирування

Аналіз отриманих даних (див. рис. 1.1) показав, що зміни товщини штаби (h_1) та характеристики неплощинності ($А_к$, L_k) холоднокатаних штаб тісно взаємопов’язані. Будь-яке збурення, що впливає на товщину штаби, відображається на значеннях її неплощинності. Це особливо добре видно на рис. 1.1,б, де відхилення від площинності ($А_к$) та довжина хвилі коробчатості (L_k) практично повторюють характер змін товщини штаби (h_1) вздовж рулону.

Під час проведених експериментів величина $А_к$ на холоднокатаних штабах змінювалася від 0 до 40-60 мм/м. Найбільші відхилення від площинності спостерігалися під час прокатки кінців штаб. Подібну

залежність показали й зміни довжини хвилі. Зазвичай довжина хвилі коробчатих або хвилястих ділянок штаби становила 500-800 мм, але іноді варіювалася в межах 0-500 мм або 800-1200 мм.

Коробчатість неплощинності розташовувалася симетрично по центру штаби, тоді як хвилястість спостерігалася переважно на її краях. Ширина зон неплощинності становила від 200 до 900 мм.

Як видно з рис. 1.2, поперечний профіль гарячекатаного підкату має симетричну форму, близьку до ідеальної «чечевицеобразної». Після холодної прокатки та дресирування ця форма залишилася практично незмінною. При цьому поперечна різнотовщинність холоднокатаного профілю (δh_1 = 0,02554 мм) виявилася приблизно у 3,5 рази меншою, ніж у гарячекатаного підкату (δh_o = 0,09 мм).

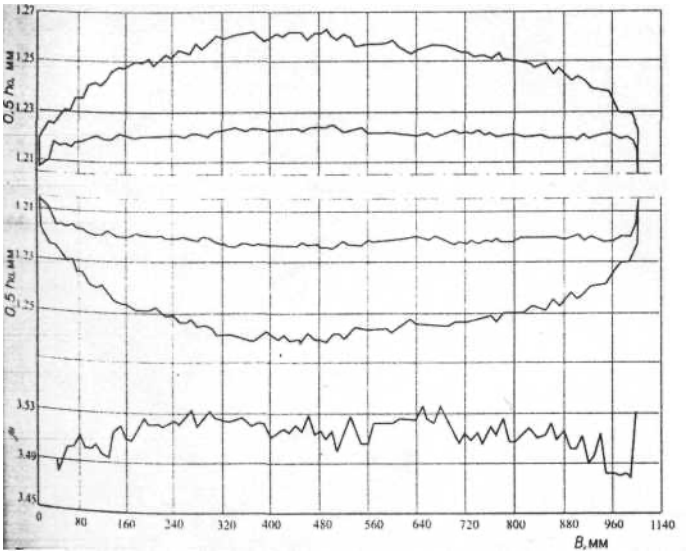


Рисунок 1.2 – Поперечні профілі гарячекатаного підкату 2,5х1000 мм (h_0), холоднокатаної штаби 0,7х1000 мм (h_1) і зміна сумарного коефіцієнта витяжки по ширині штаби

Як показано в роботі [16], технологія холодної прокатки, заснована на використанні гарячекатаного підкату з регламентованими параметрами поперечного профілю, дозволяє виробляти тонкі штаби (0,5–1,0 мм) на безперервному чотириклітьовому стані холодної прокатки 1680 з

відхиленням від площинності до 6,0 мм/м. Ця продукція відповідає вимогам високої групи площинності холоднокатаної листової сталі.

На сьогодні ця технологія реалізована у ручному режимі керування засобами, що впливають на профіль робочих валків стану 1680. Для підвищення стабільності процесу і забезпечення більшої ефективності виробництва штаб із покращеною площинністю планується оснащення останньої кліті стану 1680 автоматизованою системою регулювання профілю (САРП). Матеріали цієї роботи використані при розробці технічного завдання для проєктування САРП.

У роботі [9] досліджується можливість керування тепловим профілем валків і площинністю штаби за допомогою селективної подачі емульсії.

Методика, представлена у роботі, дозволила виконати комплекс розрахунків. На рис. 1.2 і 1.3 показано розрахункові зміни температурного поля і теплового профілю робочих валків під час прокатки на стані 2030 штаби за схемою 3,5–1,0×1025 мм зі сталі 08Ю.

Запропонований у роботі алгоритм може бути використаний як частина автоматичної системи керування площинністю штаби разом із іншими засобами, такими як перекіс валків у вертикальній площині, примусовий вигин, осьове зрушення валків тощо.

Алгоритм базується на залежностях, викладених у роботі [12], але має недолік у вигляді неконтрольованого дрейфу сумарної витрати СОЗ (система охолодження і змащення) через всі форсунки. Наприклад, постійний дрейф у бік збільшення витрати СОЗ обмежує діапазон регулювання у майбутньому. Оптимальний рівень подачі СОЗ має бути пропорційним ширині штаби. Якщо ширина штаби відповідає габаритам зон подачі СОЗ, оптимальне значення становить 50%, забезпечуючи максимальний діапазон регулювання.

Цей показник зменшується пропорційно до співвідношення ширини штаби до загальної довжини зон подачі СОЗ. Користувач програми може задавати цей відсоток вручну або використовувати рекомендовані значення. У разі зміни сортаменту система автоматично застосовує розрахункові

рекомендовані значення витрати СОЗ, при цьому подача за межами штаби вимикається. На цих ділянках валків зазвичай передається додаткове тепло, щоб уникнути різких перепадів теплового профілю.

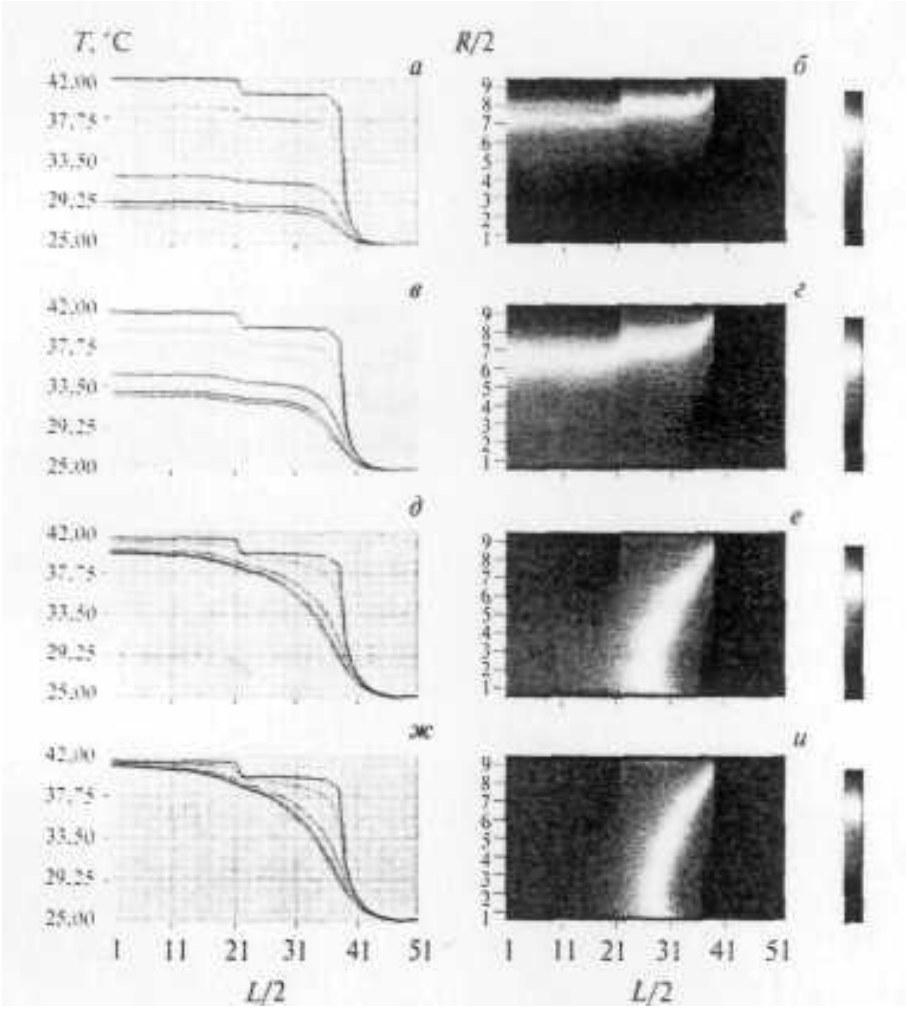


Рисунок 1.3 – Зміна температура *(а, в, б. ж)* і теплове поле (*б, м, е, і)* у вузлових крапках (номера крапок на осях поля температур) робочого валка (права верхня чверть розтину розбита на 51 елемент по довжині й 9 по радіусі) після прокатки штаб: *а, б* – одного рулону, час прокатки 7 хв; в, *м* — трьох, 21 хв; *д, е* — шести, 42 хв; *ж. і* – дев'яти, 63 хв

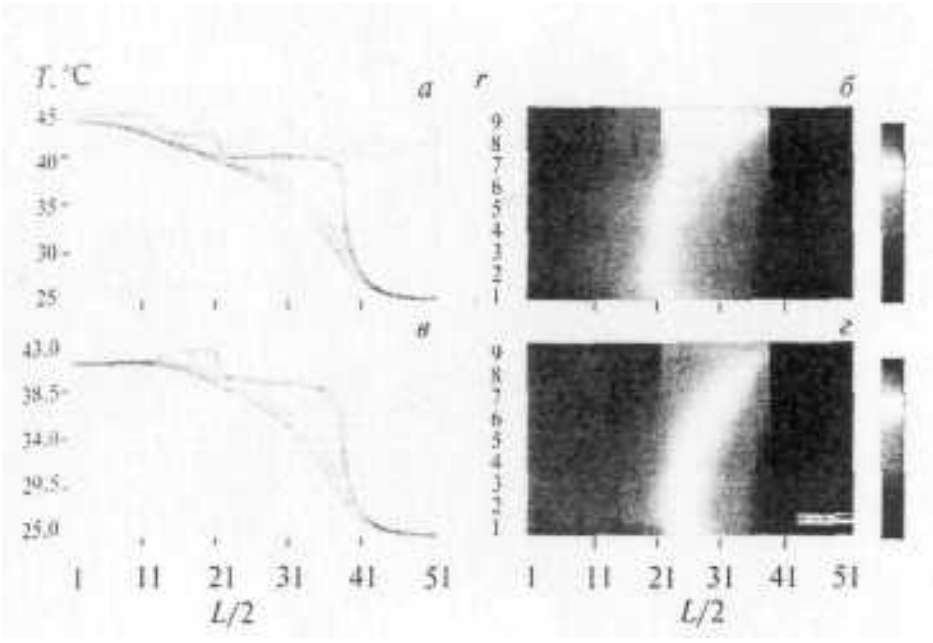


Рисунок 1.4 – Зміна температури *(а, в)* і теплового поля (б, г) після прокатки штаб за схемою 3,5 - 1,0х1025 мм зі сталі 08Ю в кліті 3 стани 2030 протягом 1,5 ч зі зменшеною подачею СОЗ у внутрішню зону й підвищеної — у зовнішню *(а. б)* і навпаки *(в,* г); подача СОЗ у проміжну зону не змінювалася

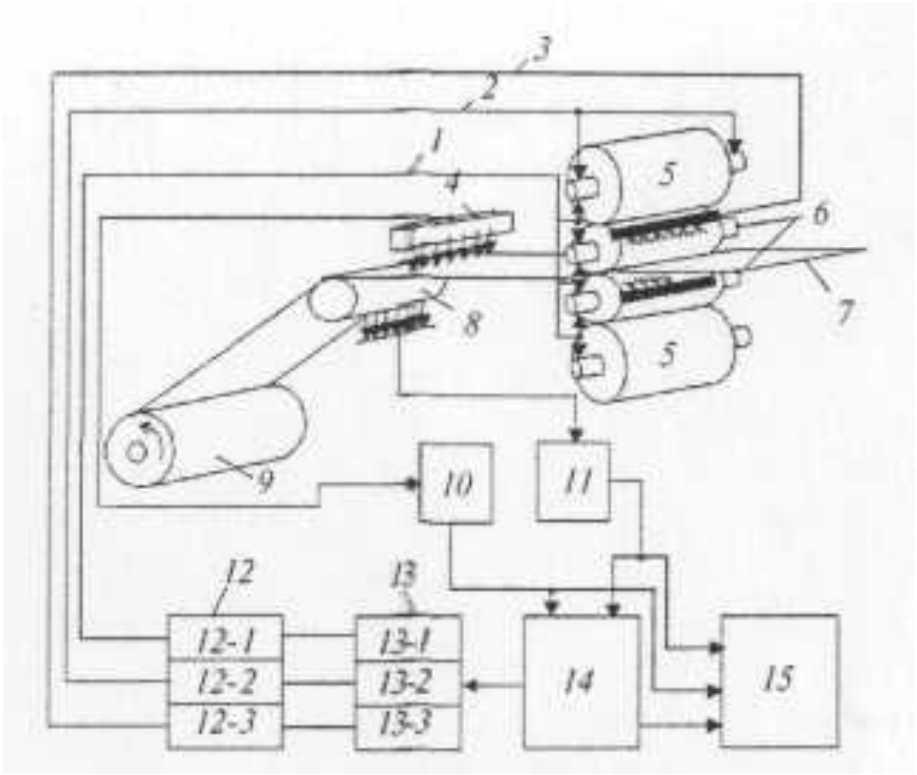


Рисунок 1.5 – Структурна схема керування площинністю штаби з урахуванням розподілу температури по її ширині: *5.6* — опорні й робочі валки; 7— прокатуєма штаба; *9*— моталки;

Як зазначається у роботі [8], у традиційних підходах до фізики та механіки деформованого твердого тіла існують два принципово важливих недоліки:

1) Однорівневий підхід до опису системи. Деформоване тверде тіло, будучи складною багаторівневою системою, описується або виключно на макромасштабному рівні, або лише на мікромасштабному рівні. Завдання прямого переходу від мікромасштабного рівня до макромасштабного ставиться некоректно, оскільки не враховується широкий спектр самоузгоджених процесів втрати зсувної стійкості, що відбуваються на нано-, мікро-, мезо- та макромасштабних рівнях.

2) Спрощення у теорії дислокацій. У традиційній теорії дислокацій ядра дислокацій ігноруються, а увага зосереджується лише на пов’язаних із ними полях внутрішніх напружень. Водночас у ядрі дислокації відбувається локальне структурне перетворення вихідних кристалічних ґрат на наномасштабному рівні, що є важливим аспектом.

У роботі [11] проведено статистичний аналіз показників якості штаб із чорних і кольорових металів. Аналіз дозволив визначити діапазони змін основних параметрів, таких як ширина та різноширість, товщина й поперечна різнотовщинність, площинність, механічні властивості, а також якість поверхні прокату. У ході дослідження також були встановлені області впливу технологічних змінних, розмірів і властивостей штаби на показники якості продукції та стійкість прокатного процесу.

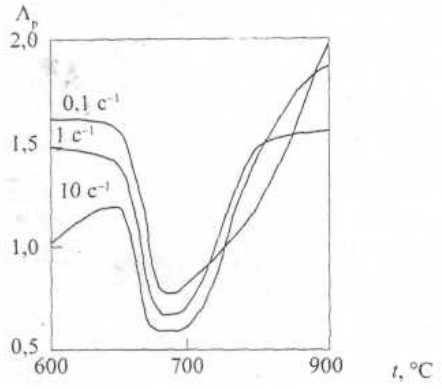


Рисунок 1.6 – Залежність температури і швидкості деформації від граничної пластичності багатолегованого сплаву Лмц 58-2

Упорядкування результатів теоретичних і експериментальних досліджень дозволило систематизувати основні закономірності формування показників якості і деформуємості штаб при прокатці й розробити блок-схему комплексного впливу керуючих вплівів, що обурюють, на основні технологічно показники листової прокатки.

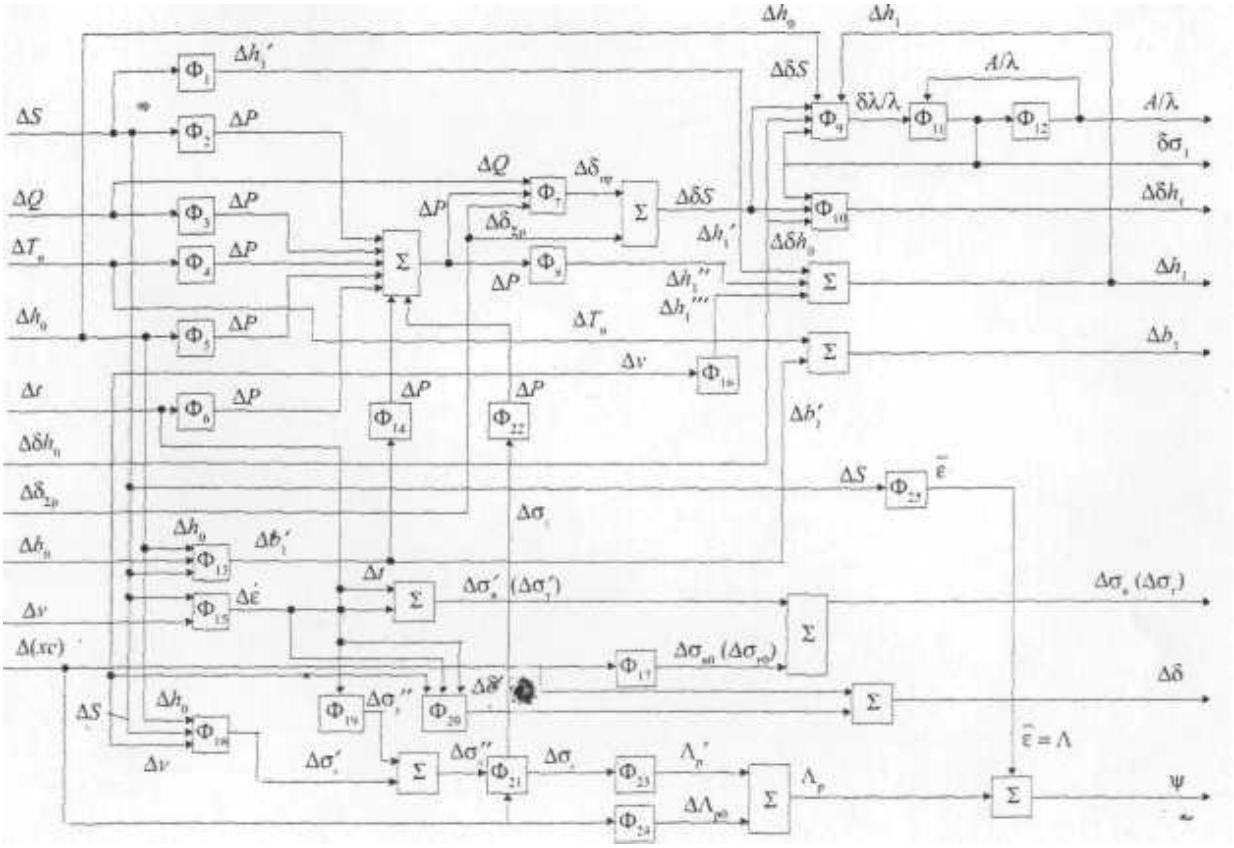


Рисунок 1.7 – Блок-схема керування розмірами, властивостями й деформуємих штаб при прокатці

На основі проведеного аналізу встановлено, що для підвищення виходу придатного при прокатці сталевих штаб технологічні режими та початкове налаштування станів доцільно встановлювати за критерієм точності тонких штаб. Для багатолегованих сплавів кольорових металів пріоритетним критерієм є забезпечення пластичності прокату.

На основі моделі алгоритму, розробленої у роботі [11] та у роботі [10] створено алгоритм розрахунку та оптимізації контрольованого охолодження листів. Алгоритм вирішує три основні завдання:

Розрахунок температури товстого листа в будь-якій точці рольганга при заданих параметрах УКО (установки контрольованого охолодження), таких як витрати води у верхніх і нижніх секціях.

Вибір оптимальних налаштувань УКО, які забезпечують необхідну температуру кінця охолодження при заданих початковій температурі листа, швидкості його руху та стратегії охолодження.

Формування базової матриці охолодження, яка містить дані щодо оптимальних налаштувань УКО для різних технологічних параметрів у межах їх можливих змін для певної партії.

На основі цих розробок у роботі [10] створено базове програмне забезпечення, що включає користувацьку програму для персонального комп’ютера та імітаційну модель.

Користувацька програма, реалізована в середовищі Delphi-7, працює в діалоговому режимі та дозволяє визначити раціональні характеристики обладнання ділянки УКО.

Імітаційна модель УКО товстолистового стану (пакет "Уколист") побудована на базі програмного пакета InTouch для стану 2800. Модель дозволяє симулювати різні стратегії охолодження залежно від технологічних вимог виробництва високоякісних листів, враховуючи технічні можливості та конструктивні особливості обладнання.

У моделі реалізовано управління УКО в реальному часі з урахуванням змін технологічних параметрів. Ця імітаційна модель може бути використана як основа для створення автоматизованої системи управління (АСУ) установками охолодження розкатів і листів у потоці товстолистових станів.

1.3 Статичні методи впливу на профіль штаби при прокатці

Загальна характеристика статичних методів впливу на профіль штаби при прокатці була дана вище. Тому перейдемо до конкретного розбору сутності, переваг і недоліків кожного із цих методів.

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

Профілювання валків здійснюється під час переточувань (перешліфовок) на вальцетокарних або вальцешліфувальних верстатах [23]. У процесі профілювання бочкам валків надається форма певного тіла обертання: циліндра, параболоїда й гіперболоїда обертання (рис. 1.8, *а, б),* циліндра із двома (рис. 1.8, *в)* або із чотирма (рис. 1.8, г) усіченими конусами. (Довжина циліндричної ділянки валків (рис. 1.8, *в, г)* становить 20—50% довжини бочки). Відповідно до цим утворюючий бочки валка буде являти собою відповідно пряму, опуклу або ввігнуту параболу, гіперболу, циклоїду, опуклу або ввігнуту ламану лінію, симетричну щодо середини бочки. Та або інша форма утворюючої вибирається залежно від типу стана, величини вихідної (верстатної) опуклості (увігнутості), теплової опуклості та зношування валків, а також залежно від геометричних розмірів штаб і листів.

Валки одноклітівих товстолистових станів дуо виготовляють опуклими або із циліндричною ділянкою посередині та скосами по краях (рис. 1.8, *в, г).* Величина опуклості (конусності) становить 1,0—2,0 *мм.*

Валки чорнових клітей дуо та кварто товстолистових станів звичайно виконують або із циліндричною бочкою, або з невеликою ввігнутістю.

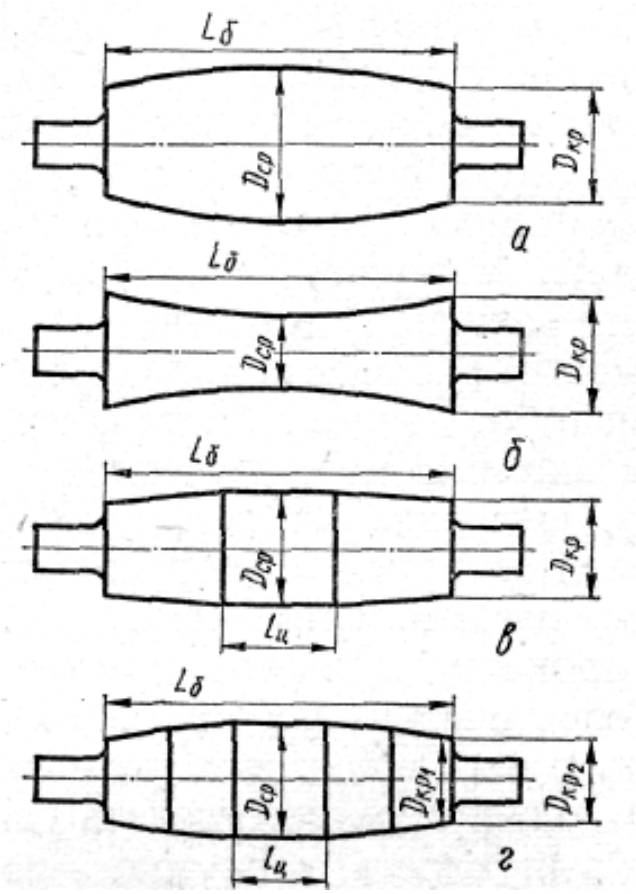


Рисунок 1.8 – Форма профільованих валків

Валки чорнових клітей тріо Лаута профілюють у такий спосіб:

1) всі три валки циліндричні, з наступною заміною всього комплекту;

2) всі три валки циліндричні, з наступними замінами середнього циліндричного валка опуклим. Опуклість останнього збільшується в міру виробітку крайніх валків, досягаючи 1,5—2,0 *мм* при останній установці;

3) верхній і нижній валки опуклі, середній — циліндричний, з наступними замінами середнього валка опуклим. Вихідна опуклість крайніх валків становить 0,1—0,5 *мм;* опуклість середнього валка збільшується в міру виробітку крайніх валків і досягає 1,5—2,0 *мм.*

Робітничі валки чистових клітей кварто товстолистових станів виконують із параболічною ввігнутістю, що досягає 0,4—0,5 *мм,* опорні — циліндричні або з невеликою ввігнутістю. Таке профілювання забезпечує стійкість розкату у валках при прокатці. Однак поперечна різнотовщинність

готового прокату виходить значної — не менш 0,15—0,25 *мм* (середина листа товща крайок).

Верхній і нижній валки чистових клітей тріо Лаута товстолистових станів виготовляють циліндричними або з невеликою опуклістю (0,1—0,5 *мм).* Середній валок має циліндричну бочку або бочку з невеликою опуклістю (0,2—0,5 *мм).* Іноді середній валок виконують із циліндричною ділянкою по середині (рис. 1.8, в). При цьому величина конусності досягає 0,2—0,5 *мм.* У міру виробітку валків заміняють тільки середній валок з поступовим збільшенням опуклості (конусності) до 2,0—3,0 *мм.* Таке профілювання сприяє скороченню кількості перевалок валків і зменшенню поперечної різнотовщинності прокатуваних листів.

На безперервних широкополосних станах профільованими є тільки верхні робітники валки, а опорні та нижні робітничі валки всіх клітей — циліндричними. Найчастіше верхні робітничі валки чорнових і чистових клітей мають опуклість 0,05— 0,45 *мм* (більші значення характерні для валків чорнових клітей). Робітничі валки чистових клітей деяких станів виконують циліндричними (в останніх клітях) або з увігнутістю до 0,2—0,3 *мм* (у початкових клітях), що забезпечує більшу стійкість штаби в процесі прокатки та кращу площинність готової продукції.

На станах холодної прокатки застосовують валки тільки з опуклим профілем. При цьому профілюють обоє робітничі або тільки один робочий валок, обоє опорних або тільки один опорний валок або один робочий (верхній) і один або два опорних хитка. Найчастіше профілюють тільки один верхній робочий валок з опуклістю 0,2—0,6 *мм.*

Для запобігання защемлення крайок штаби на деяких станах холодної прокатки опорні валки виготовляють із циліндричною ділянкою по середині та скосами по краях бочок (рис. 1.8, *в).* Довжина скосів становить 100—150 *мм,* а їхній діаметр на 1,5—3,0 *мм* менше діаметра середньої частини бочки.

Одночасно із профілюванням поверхні бочки валка їй надається і певний ступінь чистоти, необхідна для одержання штаб і листів з якісною поверхнею. Із

цією метою валки товстолистових станів обточивають на вальцетокарних верстатах. У всіх інших випадках валки шліфуються, причому валки станів холодної прокатки після шліфування полірують до дзеркального блиску або піддають насічці чавунним дробом для одержання матової поверхні.

Слід зазначити, що останнім часом у літературі з'явився опис нових, більше складних попередніх профілювань, з обліком виявленої при дослідженнях непараболічності теплового профілю валка. Остання викликається більше складним, чим параболічний, законом розподілу температури по довжині валка, причому найбільші відхилення від параболічного закону мають місце в зонах, що відстоять від краю бочки приблизно на 1/6 її довжини. Неврахування цієї обставини може приводити до підвищеного місцевого зношування бочки і до перекручування параболічності профілю, непереборному за допомогою звичайних динамічних методів регулювання.

Навпроти облік цієї обставини при попереднім профілюванні дозволяє одержати сумарний профіль валка правильної й регульованої форми.

У висновку не можна не згадати один досить своєрідний метод, якщо можна так сказати, «непрямої» профілювання опорних валків. Мова йде про взаємне перехрещування робочих валків у плані. При непаралельності осей робочого та опорного валків лінія їхнього контакту стає непрямолінійної, опорний валок як би знаходить опукле профілювання. Ця ідея в сполученні із профілюванням робочого валка дозволяє встановлювати потрібний профіль позіху валка. Однак, для конструктивного виконання в прокатній кліті кварто вона все-таки досить складна.

Отже, можна констатувати, що попереднє профілювання валків, як робочих, так і опорних, а також сукупність тих і інших, є досить доступним методом статичної корекції профілю штаби. Як ми побачимо далі, найбільше поширення цей метод одержує в сполученні з іншими, переважно динамічними методами.

Збільшення твердості робочих клітей. Збільшення твердості робочих клітей кварто в цей час досягається двома способами:

1. Підвищенням твердості основних елементів робочих клітей.
2. Попередньою напругою робочих клітей.

Перший спосіб припускає збільшення твердості робочих клітей за рахунок збільшення розмірів окремих елементів кліті (діаметрів опорних валків, перетинів стійок станин і т.д.), а також за рахунок модернізації елементів кліті, наприклад, заміни підшипників кочення опорних валків на підшипники рідинного тертя. Збільшенню твердості сприяє також вибір оптимальних співвідношень окремих елементів кліті.

У більшості випадків досягнення необхідної точності штаби обмежується твердістю валкового вузла, тому при збільшенні твердості робочих клітей прагнуть насамперед підвищити твердість валкового вузла.

Підвищення твердості валкового вузла досягається за рахунок збільшення діаметрів робочого та опорного валків, а також за рахунок збільшення діаметра шейки опорного валка. Однак збільшення зазначених розмірів валків пов'язане зі збільшенням розмірів вікна станини, що викликає збільшення пружної деформації станини. Тому при підвищенні твердості кліті шляхом збільшення розмірів окремих елементів кліті повинні бути знайдені найбільш оптимальні співвідношення геометричних розмірів останніх.

Збільшення твердості робочих клітей за рахунок підвищення твердості їхніх окремих елементів має обмежені можливості та зв'язано зі значним збільшенням маси і габаритів робочих клітей. У багатьох випадках таке рішення є технічно недоцільним і економічно невигідним.

Більше перспективним є другий спосіб збільшення твердості робочих клітей – створення попередньо напружених клітей. У цьому випадку збільшення твердості супроводжується зменшенням маси і габаритів робочих клітей.

Відмінною рисою попередньо напружених клітей є те, що перед прокаткою стійки станин, натискні гвинти, підшипники та подушки останніх

навантажуються зусиллями, величина яких порівнянна або перевищує величину тиску металу на валки. Під дією зусилля попереднього напруження (розпору) величина пружної деформації названих деталей кліті вибирається частково або повністю до захвата металу валками. У період захвата металу валками в процесі прокатки спостерігається лише «пружинення» кліті, викликане пружним подовженням при розвантаженні деталей, що розпирають (гвинтів, клинів і т.д.) і пружними деформаціями валкового вузла. деталі, що розпирають, мають більшу твердість, тому їхні пружні деформації в порівнянні із пружними деформаціями кліті невеликі, що сприяє зменшенню «пружини» кліті й, отже, збільшенню її модуля твердості.

Необхідно відзначити, що при попередньому навантаженні кліті пружна деформація валкового вузла не компенсується. У зв'язку із цим другий спосіб збільшення твердості клітей доцільніше застосовувати на станах з невеликою довжиною бочки, а також на діючих станах з невеликим перетином стійок станин.

Уперше принцип попереднього напруження був використаний у так званих безстанинних клітях (шведський патент 1945 р.). У безстанинних клітях подушки опорних валків з'єднані чотирма гвинтами, які сприймають зусилля прокатки та роблять установку потрібного зазору між ними. Зусилля попереднього напруження в безстанинних клітях більше тиску металу на валки. Внаслідок попередньої напруги, а також скорочення кількості та довжини навантажених деталей твердість клітки збільшується. Недоліком безстанинних клітей є складність синхронного привода гвинтів і складність перевалки валків.

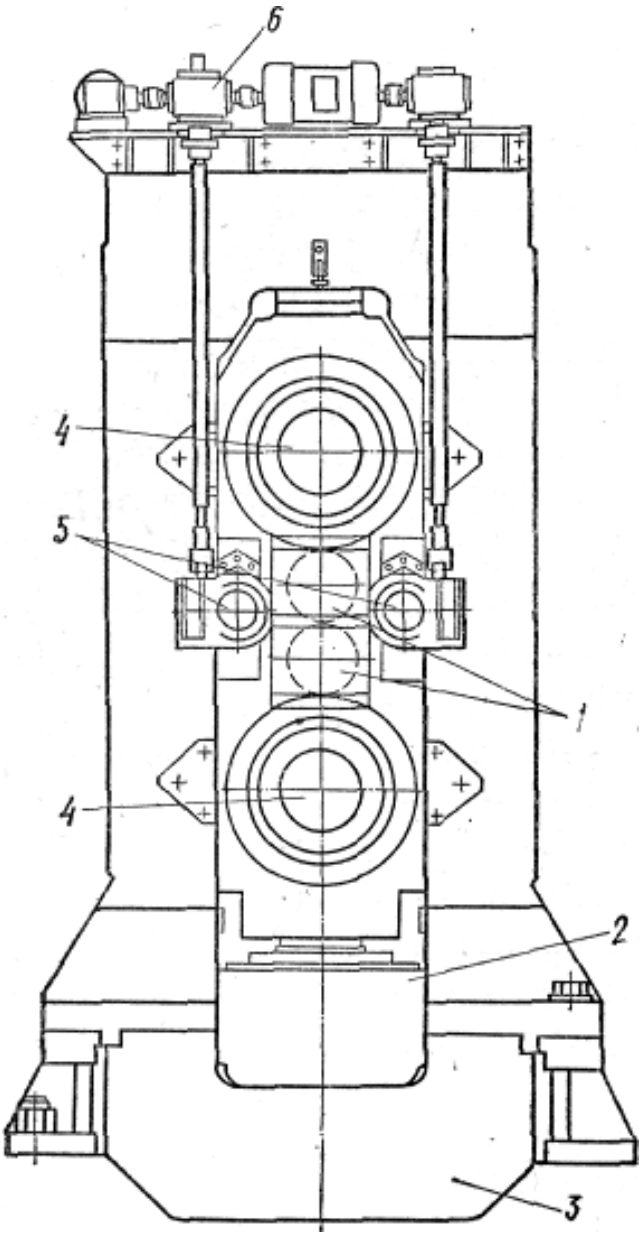


Рисунок 1.9 – Попередньо напружена кліть кварто фірми Хантер (США)

На рис. 1.9 представлена попередньо напружена кліть, розроблена фірмою «Хантер» (США). Вона складається з робочих валків 1, гідравлічного натискного пристрою 2, станин 3, опорних валків 4, клинових пристроїв 5, розташованих між подушками опорних валків, і привода клинів *6*.

Установка розчину валків виробляється за допомогою клинових пристроїв, виготовлених з легованої сталі, а попередня напруга кліті здійснюється гідравлічним натискним пристроєм. При цьому стійкі станин розтягуються, а подушки опорних валків і клинових механізмів стискуються.

Зусилля попередньої напруги приймається на 30-40% більше тиски металу на валки.

Великий практичний інтерес представляють попередньо напружені кліті кварто конструкції фірми «Леви» (Англія), що працюють у сполученні із системою автоматичного регулювання товщини штаби. За рахунок попередньої напруги твердість робочих клітей даної конструкції збільшується на 40% [11].

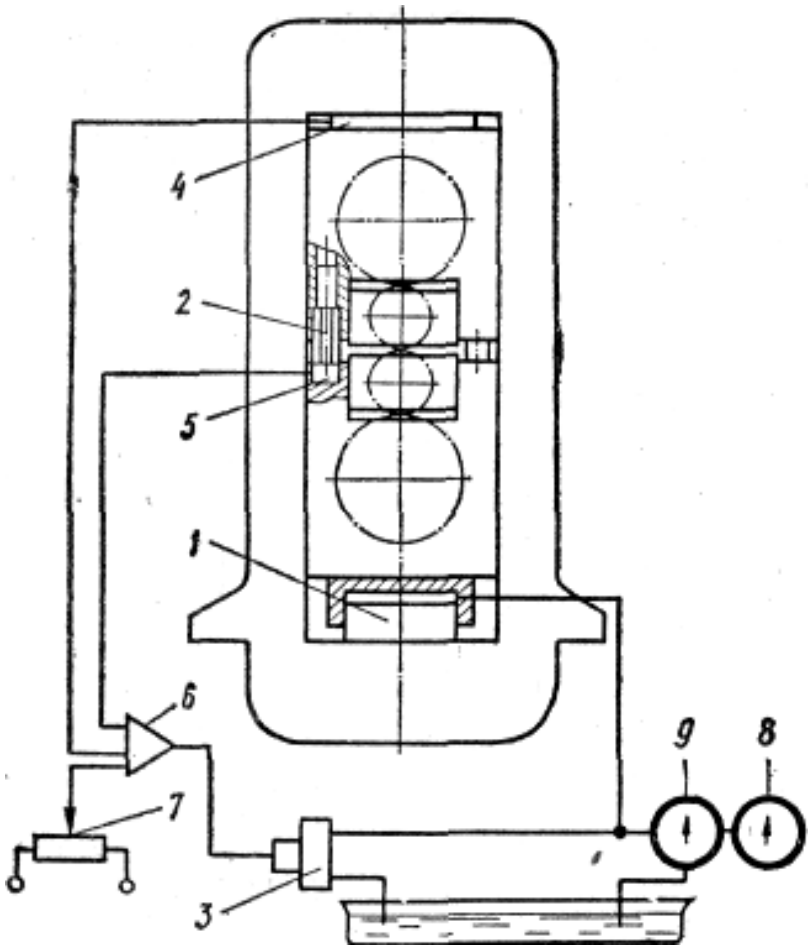


Рисунок 1.10 – Схема попередньо напруженої кліті з регульованим навантаженням фірми «Леви» (Англія)

На рис. 1.10 представлена схема кліті фірми «Леви». Попередня напруга кліті створюється гідравлічним натискним пристроєм *1,* розміщеним під подушками нижнього опорного валка. Тиск рідини в гідросистемі створюється насосом *9,* що приводять у рух двигуном *8,* і становить 15 Мн/м^2 (150 ат). Між подушками опорних валків розташовані чотири розпирающих гвинти *2,* що забезпечують попереднє напруження кліті. Переміщення їх здійснюється від

окремого привода. Зусилля під цими гвинтами виміряються мездозами *5,* а навантаження на кліть — мездозами *4.* У процесі прокатки величина зусилля під гвинтами, що розпирають, дорівнює різниці зусилля попереднього напруження і тиску металу на валки. При необхідності гвинти, що розпирають, можуть бути прибрані в подушки опорних валків і тоді розглянута кліть перетворюється у звичайну з гідравлічним натискним пристроєм.

Кліть фірми «Леви» працює в автоматичному режимі. Регулювання навантаження на кліть здійснюється зміною тиску рідини в гідросистемі за допомогою керуючого сервомеханізму *3.* Робота сервомеханізму регулюється сигналами, що надходять від мездоз *4* і *5* через підсилювач *6* і систему порівняння 7. Описана система регулювання забезпечує чотири режими роботи кліті:

1. *Режим постійного тиску металу на валки.* При цьому режимі роботи попередня напруга кліті не застосовується. Підтримка постійного тиску прокатки забезпечує найбільш м'які характеристики «пружини» кліті. Такий режим потрібно при дресируванні та прокатці фольги, коли биття валків є основним чинником, що визначає величину поздовжньої різнотовщинності.

2. *Режим постійної напруги кліті.* Цей режим роботи передбачає застосування попередньої напруги кліті. Підтримування постійної напруги кліті забезпечує середню твердість кліті, що сприяє зменшенню впливу биття валків і коливання товщини підкату на товщину прокатуваної штаби.

3. *Режим постійного тиску на гвинтах.* При цьому режимі роботи, внаслідок попередньої напруги кліті, її твердість збільшується. Тому коливання товщини прокатуваних листів викликані пружними деформаціями подушок, гвинтів і станин, зведені до нуля. Вплив пружних деформацій валкового вузла на товщину прокатуваного листа не компенсується.

4. *Режим постійного зазору між валками.* Такий режим роботи застосовується, коли необхідна підвищена твердість кліті. При цьому використаються обидві мездози кліті. За допомогою зворотного зв'язка від

мездоз визначається і безупинно усувається відхилення від номінальної товщини штаби.

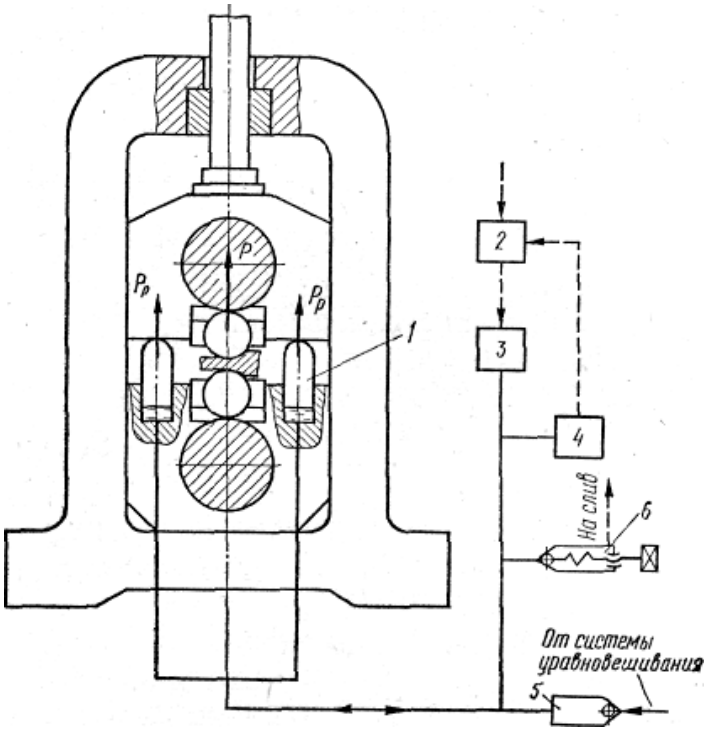


Рисунок 1.11 – Схема напруг кліті конструкції ВНИИМетМаш

Істотним недоліком цих клітей є складність синхронізації переміщення елементів, що розпирають (клинів, гвинтів).

В останні роки ВНІІМетМашем запропонований новий спосіб напруги клітей кварто. Суть цього способу полягає в тому, що між подушками опорних валків установлюються досить потужні гідроциліндри *1,* що виконують роль елементів, що розпирають (рис. 1.11). Спосіб передбачає можливість роботи кліті в трьох режимах: постійної напруги кліті, постійного тиску на натискні гвинти та постійний зазор між валками.

В режимі постійної напруги кліть працює в такий спосіб (рис. 1.11). Після захвата штаби валками сигнал про наявність металу в них надходить у систему керування *2,* що включає пристрій *3.* Цей пристрій збільшує тиск у гідроциліндрах *1* до заданої величини розпору $P_р$, фіксіруємоє реле тиску *4.* При досягненні заданої величини тиску $P_р$ реле *4* відключає пристрій *3* і кліть перетворюється в напружену. Надалі прокатка штаби ведеться в попередньо

напруженій кліті. Коли тиск у гідросистемі зменшується, що бракує обсяг масла надходить від системи зрівноважування через зворотний клапан 5.

Після виходу заднього кінця штаби з валків кліть розвантажується і подушки опорних валків зближаються, що викликає збільшення тиску масла в гідросистемі. У міру збільшення тиску масла спрацьовує запобіжний клапан *6* і зайве масло зливається в бак. При завданні у валки наступної штаби процес повторюється.

Через те, що напруга кліті виробляється після захвата штаби валками, зусилля напруги (розпору) P_p визначається з умови нерозкриття зазорів між подушкою і гідроциліндрами, що розпирають, не на весь тиск прокатки, а тільки на величину відхилення його від номіналу. Тому необхідне зусилля розпору при такій схемі напруги кліті в кілька разів нижче, ніж у напружених клітях інших конструкцій.

Розглянутий спосіб напруги дозволяє підвищити твердість звичайних клітей кварто без збільшення їхньої маси приблизно на 30% [11].

Відомі й інші конструкції попередньо напружених клітей.

1.4 Динамічні методи профілювання штаби при прокатці

Цей метод, що складається в тім, що валки примусово згинають у напрямку, що забезпечує в результаті випрямлення робочої утворюючої хитке, уперше був реалізований на промисловому прокатному стані в США в 1960 р., і з тих пор завоював загальне визнання та одержав широкий розвиток.

Без перебільшення можна сказати, що за минулі роки цей метод став найпоширенішим у світовому прокатному виробництві, а по кількості виданих патентів він також не має собі рівних.

Загалом кажучи, ця обставина досить легко з'ясовна. Справді, якщо розглянути такий простий метод, як попереднє профілювання валка, то легко бачити, що на станах із широким сортаментом прокатуваних штаб потрібен

великий парк валків всілякого профілювання, причому з переходом на кожний новий вид штаби потрібно перевалювати валки, задовго до їхнього зношування, що досить невигідно. У той же час противигин є досить гнучким методом регулювання поперечної різнотовщинності у всіляких умовах прокатки, причому це регулювання може бути досить легко автоматизовано.

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

1. Швидкодія, що дозволяє регулювати профіль штаби безпосередньо в процесі прокатки.

2. Можливість на тих самих валках вести прокатку штаб різної ширини, матеріалу, і з різними обтисненнями.

3. Можливість компенсації зміни профілю валків під впливом температури, тобто виключення необхідності попереднього підігріву валків після тривалої зупинки стана.

4. Можливість поступової компенсації зношування валків.

5. Зниження згинаючих напруг у бочку валків.

6. Можливість зменшення розмірів опорних валків.

7. Можливість використання системи одночасно і для автоматичного регулювання поздовжньої різнотовщинності (тобто в якості САРТ штаби).

8. Можливість застосування системи на діючих станах.

9. Можливість впливу як на опорні, так і на робочі валки.

10. Можливість двосторонньої компенсації профілю робочого валка.

11. Можливість автономного впливу, тобто без передачі додаткових зусиль на станину кліті.

12. Гарна відповідність пружної лінії валка, підданого противигину, і пружної лінії його вигину під дією зусилля прокатки (у вигляді симетричної рівномірно розподіленого навантаження).

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

1. Ускладнення конструкції кліті, особливо при реалізації автономних систем противигину.

2. Ускладнення в багатьох випадках перевалки кліті.

3. Виникнення (у неавтономних системах) додаткових зусиль на кліть.

4. Необхідність посилення шийок валків, при противигині опорних валків.

5. Необхідність посилення підшипникових опор частково і в автономних системах противигину.

6. Необхідність подовження опорних валків (створення плеча) при їх противигині.

Розглянемо тепер основні принципові схеми противигину валків. Таких схем відомо три:

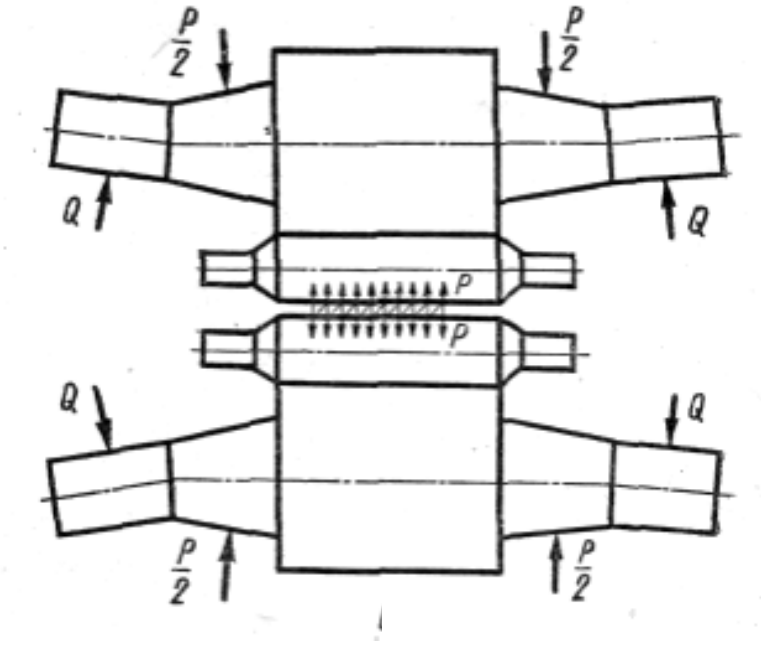


Рисунок 1.12 – Притивигин опорних валків

Перша – противигин опорних валків (або робочих у кліті дуо) характеризується додатком розпірних зусиль до подовжених шийок опорних валків, так, що ці зусилля збігаються по напрямку із зусиллям прокатки (або

створення противигинаючого моменту на шейках яким-небудь іншим способом). При цій схемі опорою валка є його основні підшипники, взаємодіючі через подушку з натискними гвинтами (рис. 1.12).

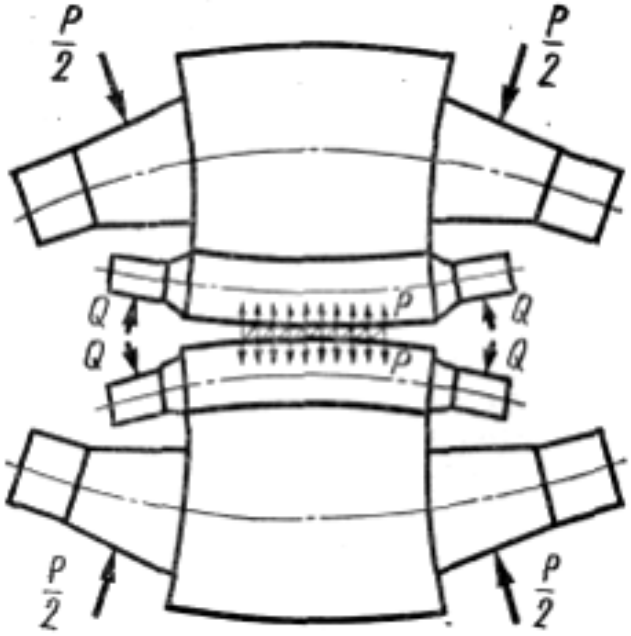


Рисунок 1.13 – Противигин робочих валків

Інший характер носить противигин робочих валків у кліті кварто. Опорою робочого валка в кліті кварто є не подушка його, а опорний валок, а при опуклому профілюванні опорного або робочого валків – середина опорного валка. Щодо цієї крапки й може бути здійснений противигин робочого валка, у зв'язку із чим немає необхідності в подовженні його шийок, розпирати можна безпосередньо подушки робочих валків (рис. 1.13). Це значно простіше конструктивно і має ще та перевага, що при меншій твердості робочого валка і більшому плечі моменту потрібно менше розпірне зусилля. Однак, це зусилля практично у всіх випадках складається із зусиллям прокатки, що є несприятливим чинником, тоді як при противигині опорних валків цього в ряді випадків вдається уникнути. Іншим недоліком другої схеми є підвищення питомого міжвалкового тиску по краях бочок робочого та опорного валків. Незважаючи на це, схема розпору подушок робочих валків є більше ефективною в змісті впливу на профіль штаби, чим схема розпору подушок опорних валків, хоча в останньої є така

фундаментальна перевага, як можливість використання її в якості САРТ (тобто для автоматичного регулювання поздовжньої різнотовщинності штаби), тоді як розпір робочих валків ускладнює таке регулювання.

У зв'язку із цим можна зробити вивід, що на товстолистових станах переважніше застосування другої схеми (противигину робочих валків), на тонколистові ж станах, де при великій довжині штаби істотного значення набувають питання поздовжньої різнотовщинності, перевага повинне бути віддане противигину опорних валків.

Нарешті, третя можлива схема вигину впливу на робочих валки полягає в тім, що взаємно розпирають подушки робочого та відповідного опорного валка. У цьому випадку опорою робочого валка, щодо якої виникає момент, є сама штаба, причому робочий валок вигинається в ту ж сторону, що й по дією зусилля прокатки, через що цей різновид вигину впливу на робітники валки одержала назву додаткового вигину (рис. 1.14).

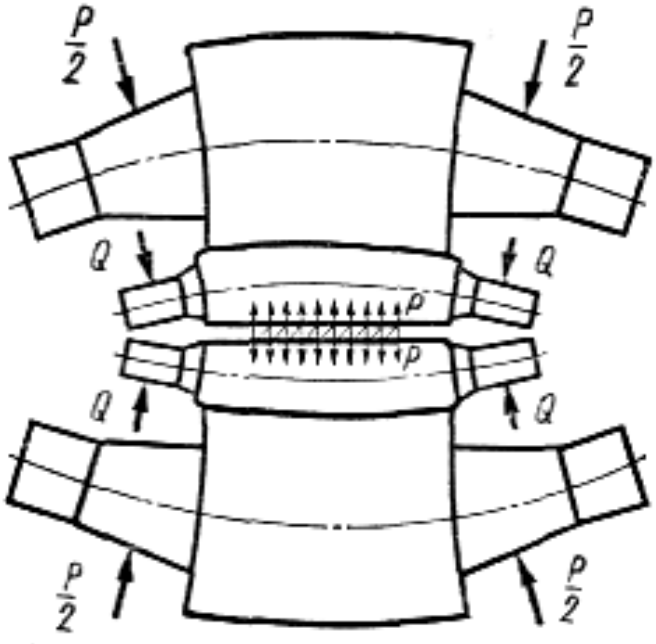


Рисунок 1.14 – Додатковий вигин робочих валків

Саме собою зрозуміло, що ця схема може застосовуватися тільки в сполученні з опуклим попереднім профілюванням робочих валків. Оскільки в цій схемі розпір валків лише допомагає зусиллю прокатки, а не протидіє

йому, ця схема ще більш ефективна відносно впливу на профіль штаби, до того ж вона знижує міжвалковий тиск і не передає зусиль на натискні гвинти і станини. Безроздільному поширенню цієї схеми перешкоджає, однак, її досить серйозний і органічний недолік: вона вимагає відключення системи противигину перед кожним виходом штаби їхніх валків і відповідно включення системи після кожного входу штаби у валки.

1.5 Регулювання форми штаби

Успішна робота систем автоматичного регулювання форми штаби залежить насамперед від ефективності оперативного контролю площинності в процесі прокатки. Прямий вимір неплощинності штаби в промислових умовах важко і не забезпечує заданої точності. Тому для виміру контролю неплощинності штаби користуються непрямими методами, заснованими на вимірі витяжок, швидкостей або питомих натягів по ширині. Найбільший практичний інтерес представляє метод контролю неплощинності, заснований на зміні характеру розподілу питомих натягів по ширині штаби.

Регулювання форми штаби супроводжується обов'язковим (хоча й незначним) зміною її поперечного профілю. Тому системи автоматичного регулювання форми штаби відомі в літературі як системи автоматичного регулювання профілю і форми штаби (САРПФ). На рис. 1.15 наведена схема системи автоматичного регулювання профілю і форми штаби, для дрессирувальних і безперервних станів холодної прокатки.

У розглянутій системі імпульсами для зміни профілю активної утворюючих валків служать сигнали від безконтактних магнітоанізотропних датчиків питомого натягу ДУН, розташованих під штабою, що рухається, на ділянці між останньою кліттю стана і моталкою. Наприклад, однакові показники всіх п'яти датчиків питомого натягу $Д_1$ – $Д_5$ свідчать про те, що вихідна штаба є рівною. Поява різниці натягів по ширині штаби свідчить про

погіршення її форми, причому чим більше ця різниця, тим вище неплощинність.

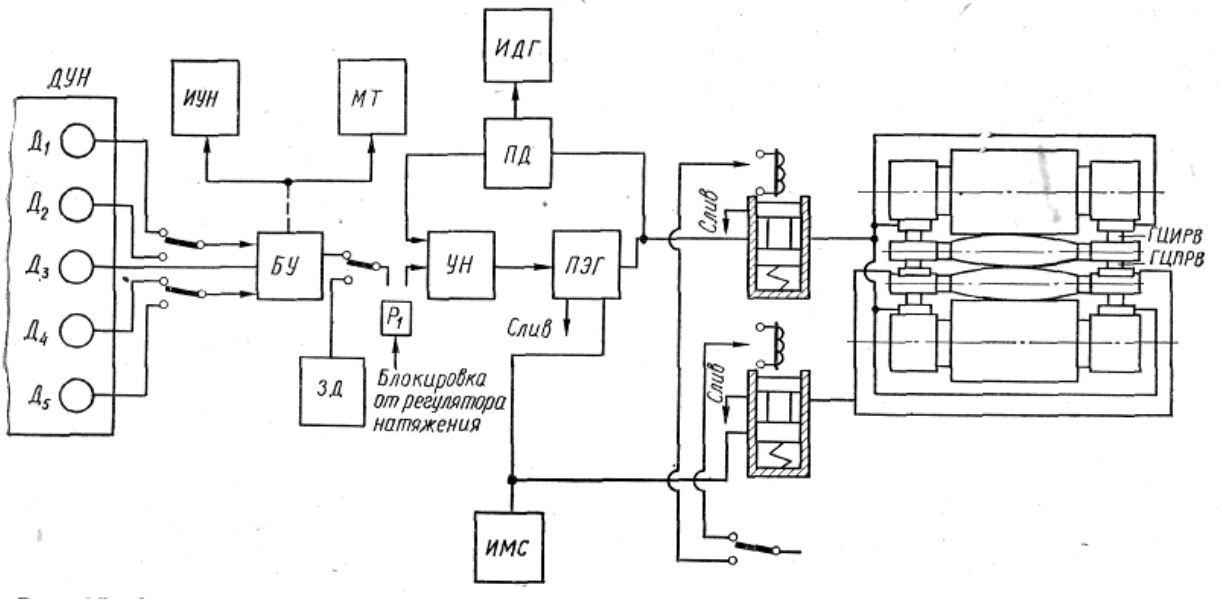


Рисунок 1.15 – Структурна схема електрогідравлічної системи автоматичного регулювання профілю і форми штаби (САРПФ)

Система САРПФ, представлена на рис. 1.15, може працювати з автоматичним і ручним керуванням. З автоматичним керуванням система працює в такий спосіб. З появою неплощинності штаби з'являється різниця питомих натягів на виході ДУН. Ця різниця у вигляді електричного сигналу надходить на вхід блоку посилення і логічної обробки інформації БУ. Тут відбувається посилення і порівняння сигналів із заданим алгоритмом. Далі різниця сигналів датчиків питомого натягу надходить на вхід підсилювача небалансу ПН, в електрогідравлічному перетворювачі ПЕГ перетвориться в зміну тиску рідини в гідравлічних циліндрах ГЦИРВ або ГЦПРВ, що приводить відповідно до додаткового вигину або противигину робочих валків з метою зменшення неплощинності штаби. Зворотний зв'язок тиску рідини в гідроциліндрах додаткового вигину або противигину (ГЦПРВ) робочих валків здійснюється за допомогою перетворювача тиску ПД із електричним виходом, сигнал якого надходить на вхід УН. Коли тиск рідини в гідравлічних циліндрах прийме значення, що виходить за межі діапазону регулювання, від реле тиску

ІДГ загоряються сигнальні лампочки, що вказують, у яку сторону змінився тиск. У цих випадках повернення тиску робочої рідини в середину діапазону регулювання виробляється відповідним переміщенням натискних гвинтів. Постачання гідравлічної системи маслом здійснюється насосами джерела маслопостачання ІМП.

У випадку ручного керування системою сигнали на зміну тиску робочої рідини в гідравлічних циліндрах ГЦІРВ і ГЦПРВ подаються в УН від дистанційного задатчика тиску ЗД.

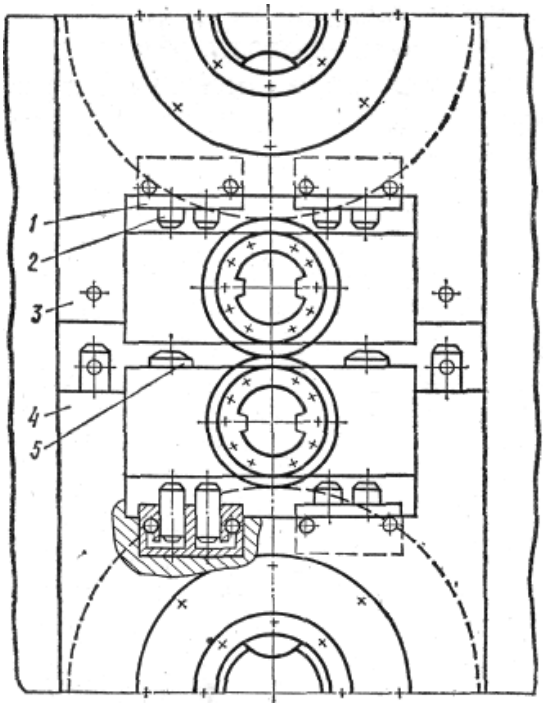


Рисунок 1.16 – Схема розташування гідравлічних циліндрів для вигину і противигину робочих валків

Регулювання профілю активної утворюючої в розглянутій системі виробляється за комбінованою схемою, тобто вигином і противигином робочих валків. Схема розташування гідравлічних циліндрів представлена на рис. 1.16. Додатковий вигин робочих валків здійснюється вісьма гідравлічними циліндрами 1 із плунжерами *2,* розташованими в подушках 5 і *4* відповідно верхніх і нижнього опорних валків. Противигин робочих валків виробляється гідравлічними циліндрами *5,* вмонтованими в подушках нижніх робочих валків.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичне обґрунтування дослідницької проблеми

Головна мета даного розділу – теоретично визначити показники форми листових зразків до і після прокатування, скласти рівняння зміни форми під час прокатування та віднайти коефіцієнти вирівнювання форми.

Завданням листової прокатки разом із процесами дресирування та випрямлення є отримання штаб і листів пласкої форми, тобто без дефектів «хвилястість» і «коробчатість». В промислових умовах форму листів характеризують величиною відношення непласкості “ a ” в мм до усталеної довжини “L” в м, на якій ця непласкість виміряна. Але це співвідношення не показує, чи є лист або ділянка штаби хвилястими, пласкими або коробчатими, а також не бере до уваги ширину штаби.

З метою автоматичного регулювання форми штаб показник форми повинен характеризувати пласкість прокатуваного металу в цілому, тобто він повинен бути функцією усіх розмірів штаби, що змінюються під час прокатування.

Щоб отримати узагальнений показник форми (рис. 2.1), розглянемо два поперечних розрізи листа. Якщо достоту виміряти довжину поздовжніх дільниць поміж перерізами на краях та по середині листа, то виявиться, що для плаского листа ці величини будуть однаковими, для неплаского – навпаки, різними. Причому, чим значнішою буде різниця цих довжин, тим більшим буде відхилення форми листа від пласкої. Відхилення форми листа від пласкої при одній і тій же відносній різниці довжин збільшується зі зменшенням ширини листів b. Тому форму листів $Ф_л$ узагальнено можливо оцінити відношенням різниці довжин по середині l_c та по краях листа $l_к$ до середньої довжини l і ширини листа b на дільницях поміж перерізами листа, тобто:

$$\Phi_{Л} = \frac{l_C - l_R}{b \cdot l} \tag{2.1}$$

$$l = \frac{l_C - l_K}{2} \tag{2.2}$$

Таким чином, показник форми листа $\Phi_л$ буде позитивним для коробчатого, від'ємним для хвилястого і дорівнюватиме нулю для плаского листа.

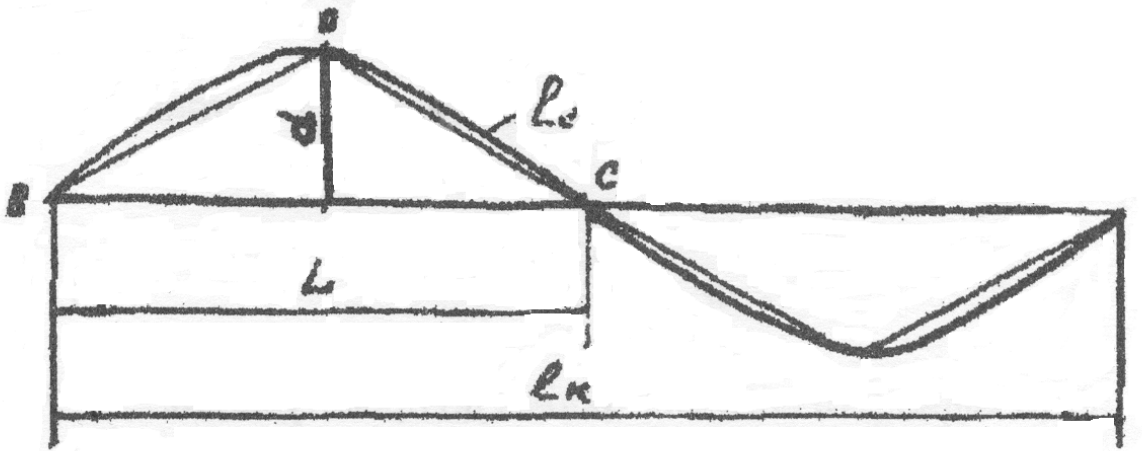


Рисунок 2.1 – Ділянка листа коробчатої форми

Визначимо зв'язок поміж отриманим показником форми $\Phi_л$ та показником, яким користуються для контролю якості форми листів в промислових умовах. Для цього розглянемо ділянку листа коробчатої форми, позначивши довжину на півхвилі дефекту форми L (рис. 2.1). За $b > L$ форма ділянки листа, відображена величиною непласкості віднесеної до довжини, на котрій вона виміряна, буде дорівнювати a/L. Для визначення показника форми $\Phi_л$ на виділеній ділянці листа вираховуємо довжину двох напівхвиль $l_к$, користуючись довжиною її горизонтальної проекції $l_к$ та величиною непласкості a, замінивши криву, яка відображає коробчатий лист по його середині двома відрізками BO та OC.

Ураховуючи, що в $a/b << l$ і прийнявши $l_K \approx l$ та користуючись виразом (2.2), отримаємо:

$$l_C = l_K \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{2a}{L}\right)^2} \approx 1 \cdot \left(1 + 2\frac{a^2}{L^2}\right) \tag{2.3}$$

підставивши l_c із (2.3) в (2.1) та замінивши в останньому $l_к$ на l, одержимо:

$$\Phi_{Л} = \frac{2 \cdot a^2}{b \cdot L^2} \tag{2.4}$$

Відповідно (2.1) показник форми до прокатування:

$$\Phi_{Л_0} = \frac{l_{C_0} - l_{K_0}}{B_0 \cdot L_0} \tag{2.5}$$

Після прокатування:

$$\Phi_{Л_1} = \frac{l_{C_1} - l_{K_1}}{B_1 \cdot L_1} \tag{2.6}$$

Показники форми по (2.5) та (2.6) в САРФ використати неможливо тому, що неможливе постійно-безперервне вимірювання довжини кайців і середини штабового металу безпосередньо під час прокатування. Тому для автоматичного регулювання величини показників $\Phi_{Л_0}$ і $\Phi_{Л_1}$ визначають за витяжкою листового металу під час його прокатування. Розподіл витяжки по ширині отримаємо скориставшись величинами узагальненої (середньої) витяжки λ та нерівномірності витяжки по ширині листа $\Delta\lambda_{ó}$. Узагальнену витяжку виразимо напівсумою витяжки середини λ_c та краях листа $\lambda_к$, тобто:

$$\lambda = \frac{\lambda_C + \lambda_K}{2} \tag{2.7}$$

а нерівномірність розподілу витяжок як їх різницю:

$$\Delta\lambda_y = \lambda_C - \lambda_K \tag{2.8}$$

де λ_c і $\lambda_к$ – відповідно витяжка середини та крайця листа, які будуть дорівнювати:

$$\lambda_{\tilde{N}} = \frac{l_{C_1}}{l_{C_0}} \tag{2.9}$$

$$\lambda_{\tilde{N}} = \frac{l_{K_1}}{l_{K_0}} \tag{2.10}$$

Завваживши, що $l_{C_0}/l_0 \approx l_{K_0}/l_0 \approx 1$, одержимо:

$$\frac{l_{C_1} - l_{K_1}}{l_1} - \frac{l_{C_0} - l_{K_0}}{l_0} = \frac{\Delta\lambda_y}{\lambda} \tag{2.11}$$

Звідси отримаємо загальне рівняння зміни форми листа під час прокатки:

$$b_1 \cdot \Phi_{Л_1} = b_0 \cdot \Phi_{Л_0} + \frac{\Delta\lambda_y}{\lambda} \tag{2.12}$$

У випадку холодної прокатки без розширення листів, тобто коли $b_1 = B_0$, будемо мати:

$$\Phi_{Л_1} = \Phi_{Л_0} + \frac{\Delta\lambda_y}{\lambda \cdot b} \tag{2.13}$$

Відношення показників форми листа опісля і до прокатування не що інше, як коефіцієнт вирівнювання форми $К_{в.ф}$. Коефіцієнт $К_{в.ф}$ отримаємо, поділивши праву та ліву частини рівняння (2.13) на $\Phi_{Л_0}$.

$$К_{в.ф} = \frac{\Phi_{Л_1}}{\Phi_{Л_0}} = 1 + \frac{\Delta\lambda_y}{\lambda \cdot b \cdot \Phi_{Л_0}} \tag{2.14}$$

Коефіцієнт вирівнювання форми листа під час прокатки в нерегульованій кліті може мати такі значення:

$K_{в.ф} > 1$ – пласкість листа погіршується;

$K_{в.ф} = 1$ – пласкість листа не змінюється;

$K_{в.ф} < 1$ – пласкість листа покращується;

Рівняння зміни форми (2.13) і величину коефіцієнта вирівнювання форми листа (2.14) використовують для оптимізації форми активної твірної поміж валкового розхилу та режимів обтискувань з метою отримання пласких листів або штаб в нерегульованих прокатних клітях. За автоматичного регульовання пласкості і форми штаб під час прокатування показники $Ф_л$ і $K_{в.ф}$ характеризують об’єкт регульовання і їх використовують як керуючі сигнали регулятора САРПФ штаби.

2.2 Методика виконання роботи

Теоретичне дослідження процесу прокатки, пов'язане з більшими труднощами та певними допущеннями. Тому значний інтерес представляють експериментально-статичні методи його вивчення, що мають своєю метою математичну обробку даних, зібраних безпосередньо на діючому об'єкті.

Ціль даного дослідження – кількісна оцінка ступеня впливу різних параметрів процесу холодної прокатки на розподіл витяжки, для перевірки вірогідності та точності представленого вище методу розрахунку.

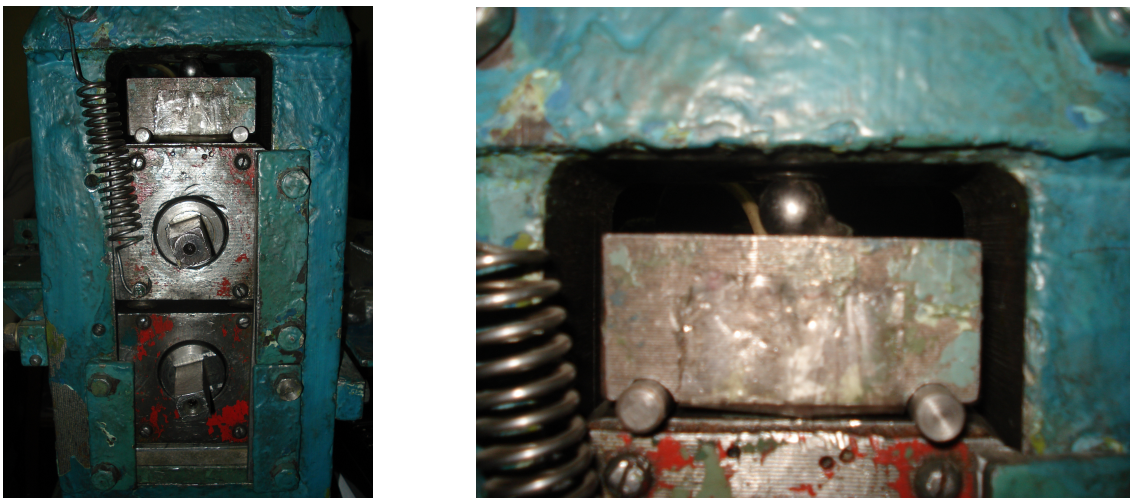


Рисунок 2.2 – Загальний вид прокатного стану і мездози

Роботу виконували на стані 100 (рис.2.2). Робоча кліть складається із двох валків, установлених на підшипниках ковзання рідинного тертя та регульованих натискними гвинтами. Загальний вид прокатного стану приведено на рис. 2.2. Діаметр валків ≈ 100 мм (97,3 мм). Матеріал валків – сталь. Число обертів валків – 60 об/хв. Потужність – 1,5 кВт. Передавальне число редуктора – 23,6.

У якості дослідного матеріалу були взяті алюмінієві зразки розмірами: ширина 100 мм, довжина 200 мм та товщина 0,91 мм. Марка сплаву – А5М. Хімічній склад приведено у таблиці № 1. Механічні властивості: межа міцності – 7,8 кгс/мм^2, відносне подовження – 40,7 %.

Таблиця 2.1 – Хімічній склад, %

Сплав	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Pb
А5М	0,06	0,29	0,005	0,005	0,005	0,011	0,01	0,01

При проведенні експерименту на прокатному стані 100 визначали наступні параметри:

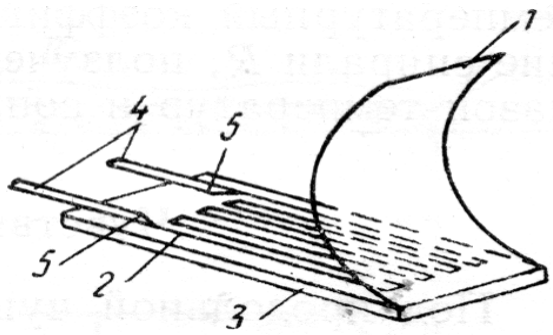
1. Тиск металу на валки;

2. Випередження металу і швидкість прокатки;

3. Товщина штаби до і після прокатки.

Вимір тиску металу на валки визначався по навантаженню на натискні гвинти. Для цього між натискними гвинтами і подушками замість запобіжних склянок установлювали силовимірники - мездози.

Датчиком деформації застосовувався дротовий тензодатчик виконаний у вигляді плоскої спіралі з тонкого (діаметром 0,05 мм) константанового дроту, що вклеювалася між смужками тонкого паперу (рис.2.3).



1 - тонкий папір; 2 - спіраль; 3 - клейова підкладка; 4 - висновки; 5 - припій;

Рисунок 2.3 – Дротовий тензодатчик

До кінців спирали приварювалися тонкі (діаметром 0,25 мм) мідні проводники, які тензодатчики підключали до вимірювального ланцюга.

Для виключення влучення на тензодатчики вологи та внаслідок цього зниження опору ізоляції ретельно готувалася поверхня наклейки, використовую чистий клей і забезпечувалося рівномірне притиснення тензодатчика у часі сушіння. Після наклейки тензодатчиків на пружний елемент їх потім включали в мостову схему рис.2.4.

Із цілю перевірки якості запису на тій швидкості стрічки була проведена градуіровка мездоз повного тиску (рис.2.5). Спочатку на стрічку записували відрізок нульової лінії, потім для фіксації встановленої чутливості – відхилення калібруючого розбалансу. Після цього записували відхилення при східчастому нагруженні. Після звіту відхилень по стрічці були побудовані тарировані графіки в координатах P и y. По осі P відкладаємо значення навантаження при кожному ступені навантаження, а по осі y - відповідним цим щаблям середньоарифметичні відхилення при навантаженні мездоз.

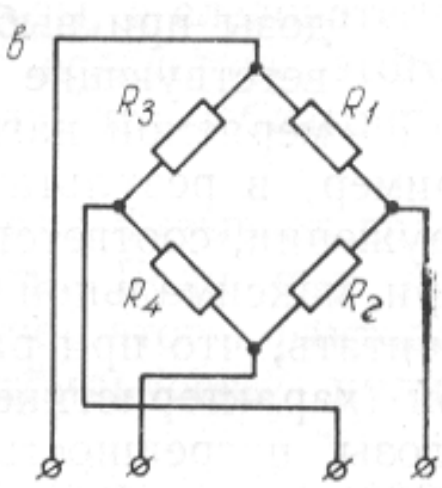


Рисунок 2.4 – Схема з'єднання тензодатчиків у міст

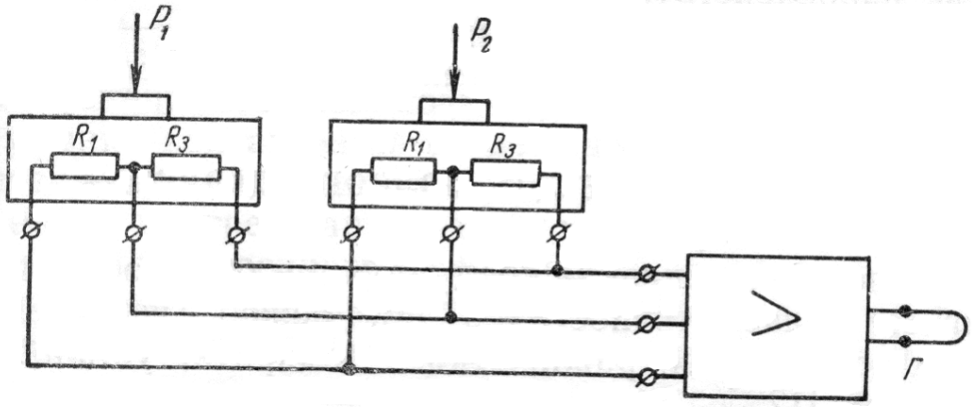


Рисунок 2.5 – З'єднання моста мездоз при підсумовуванні їхніх вихідних сигналів

Для виміру повного тиску металу на валки в кліті використали мездози з кільцевим пружним елементом, на які наклеювали дротові тензодатчики й з'єднували їх у міст. Вихід мездоз підключали до шестиканальній тензостанції. Запис графіків тиску при прокатці вели з використанням осцилографа МПО-2. Послідовно було прокатані зразки з невеликим, помірним та великим обтиском відповідно для отримання коробчатого, плаского та хвилястого профілів прокатних зразків. Опісля прокатування було виміряні основні параметри зразків.

2.3 Устаткування для проведення дослідів

З метою зниження трудомісткості, економії матеріальних ресурсів і подальшого розширення діапазону досліджуваних умов реалізації в рамках даної роботи було використане встаткування лабораторного прокатного стану 260×260 ЗДІА (рис. 2.6.–2.9) головна лінія робочої кліті якого містить у собі мотор–редуктор **1** типу МЦ 2С-63 ($n=40\,об/хв$), моторну муфту **2**, одноступінчастий циліндричний зубчастий редуктор **3** з передатним відношенням **4,0**, проміжну муфту **4**, шестеренну кліть **5**, універсальні шпинделі **6** на підшипниках кочення, механізм **7** їх пружинного зрівноважування й властиво двухвалковую робочу кліть **8**.

Устаткування робочої кліті даного стану, загальний вид і конструкція якої ілюстровані рис. 2.3, містить у собі нижній **1** і верхній **2** робочі валки з номінальними значеннями діаметрів і довжин бочок по 260 мм. За допомогою дворядних сферичних підшипників **3** шийки робочих валків зафіксовано у відповідних подушках **4**, **5** між якими з метою зрівноважування верхнього робочого валка **2** розміщені гумові прокладки **6**. Самі робочі валки були виготовлені зі сталі **9Х** із твердістю утворюючих поверхонь бочок **≈85 HS** і шорсткістю, що відповідає $\sqrt{\mathbf{Ra\,1{,}25}}$.

Подушки **4** нижнього **1** і подушки **5** верхнього **2** робочих валків, у свою чергу, були розміщені в напрямних вікнах вузла станин **7** (див. рис. 2.6).

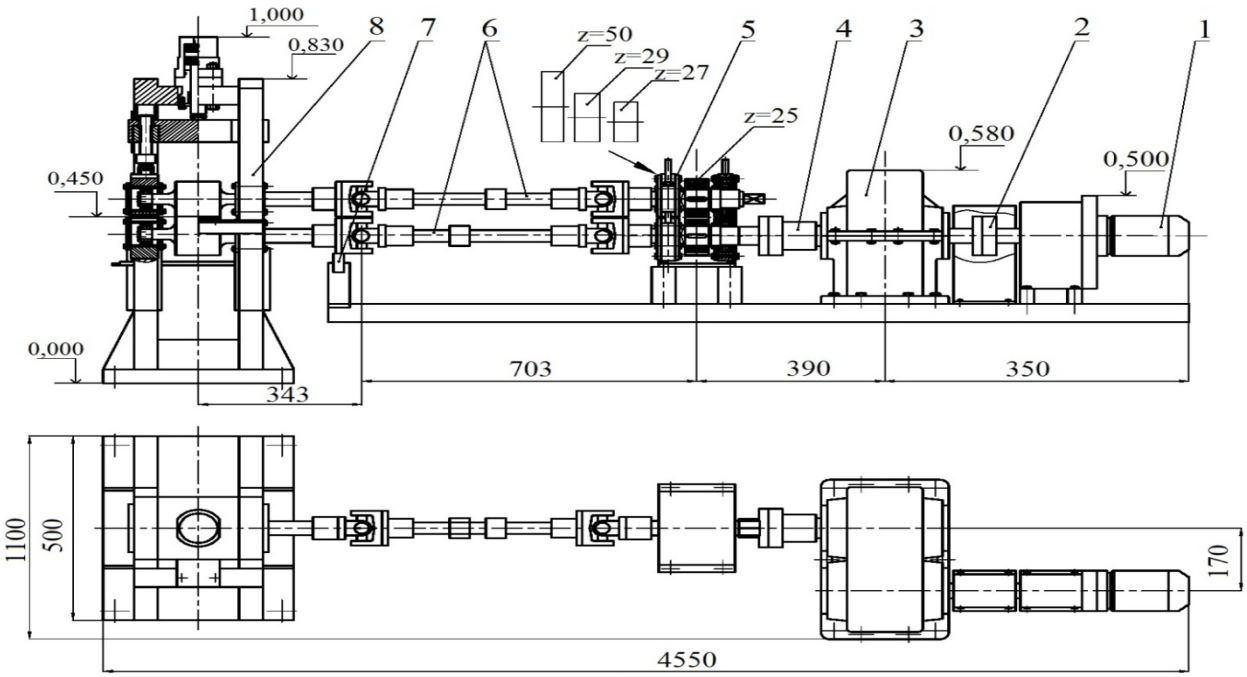


Рисунок 2.6 – Склад і план розташування устаткування головної лінії робочої кліті лабораторного прокатного міні-стану 260х260

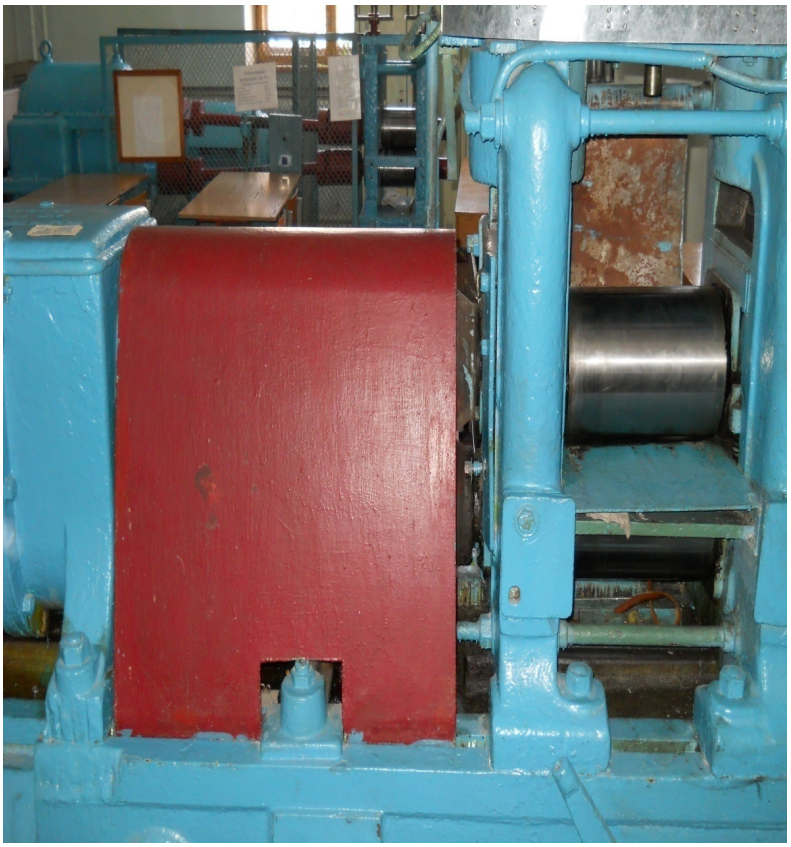


Рисунок 2.7 – Загальний вид устаткування лабораторного прокатного міні-стану 260х260



Рисунок 2.8 – Загальний вид робочої кліті лабораторного прокатного міні-стану 260х260

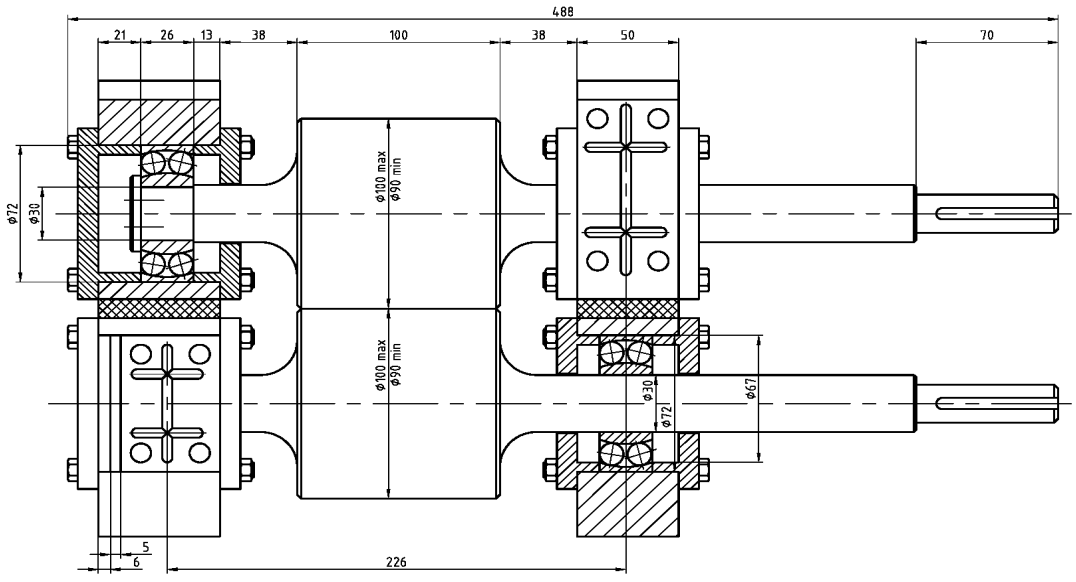


Рисунок 2.9 – Конструкція вузла робочих валків лабораторного прокатного міні-стану 260х260

При цьому у вертикальній площині подушки **4** нижнього робочого валка **1** були зафіксовані нижніми поперечками даного вузла, а подушки **5** верхнього робочого валка **2** через кільцеві пружні елементи месдоз **8** і сферичні тіла кочення **9** були сполучено з натискними гвинтами **10** механічної частини натискного механізму. Бронзові гайки **11** даного механізму різьбові нарізки, що мають **3,0мм** метричні, із кроком, були зафіксовані в розточеннях **проміжної** рухливої траверси 12, розміщеної за **аналогією** з **подушками** 4, **5** робочих **валків** 1, 2 у напрямних **вікнах** вузла станин 7. У випадку регулювання величини попереднього межвалкового зазору з використанням тільки механічної частини натискного механізму проміжну рухливу траверсу **12** фіксували у вертикальній площині за допомогою додаткових проставлень **13**, що сполучаються з верхніми поперечками вузла станин **7**.

Крім механічної частини конструкція натискного механізму робочої кліті лабораторного міні–стану **260×260** ЗДІА (див. рис. 2.9) містила в собі й гідравлічну частину, виконану у вигляді гідроциліндра поршневого типу, корпус якого був розміщений нерухомо в розточенні верхньої траверси вузла станин, а штоковий елемент сполучений з верхньою опорною поверхнею проміжної рухливої траверси. При цьому, крім безпосереднього регулювання величини попереднього межвалкового зазору з досить високою швидкодією гідравлічна частина була використана для силового розвантаження додаткових проставлень **13**, а також для торировки місдоз **8** шляхом додатка імітаційних сил їх стиску відомої величини. Враховуючи можливість переміщення проміжної траверси **12** у вертикальній площині при подачі робочої рідини в поршневу або в штокову порожнині гідроциліндра вона була постачена пружинним механізмом зрівноважування, а також датчиком лінійних переміщень реостатного типу (див. рис. 2.5).

За аналогією з розглянутим раніше (див. рис. 2.8–2.9) промислово–лабораторним станом вимір сили прокатки на лабораторному міні–стані 260×260 робили за допомогою місдоз **8** , а вимір моментів прокатки на кожному з робочих валків – за допомогою тензометричних датчиків опору,

наклеєних на тіла відповідних універсальних шпинделів **6** головної лінії робочої кліті (див. рис. 2.6, 2.9). Знімання електричного сигналу з обертових універсальних шпинделів робили за допомогою струнних струмознімачів ковзання.

У цілому состав і конструктивні особливості розглянутого вище встаткування з урахуванням відповідних критеріїв подоби дозволило досліджувати процес гарячої прокатки щодо товстих аркушів і штаб у горизонтальних робочих валках у всім діапазоні можливих умов його реалізації.

3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

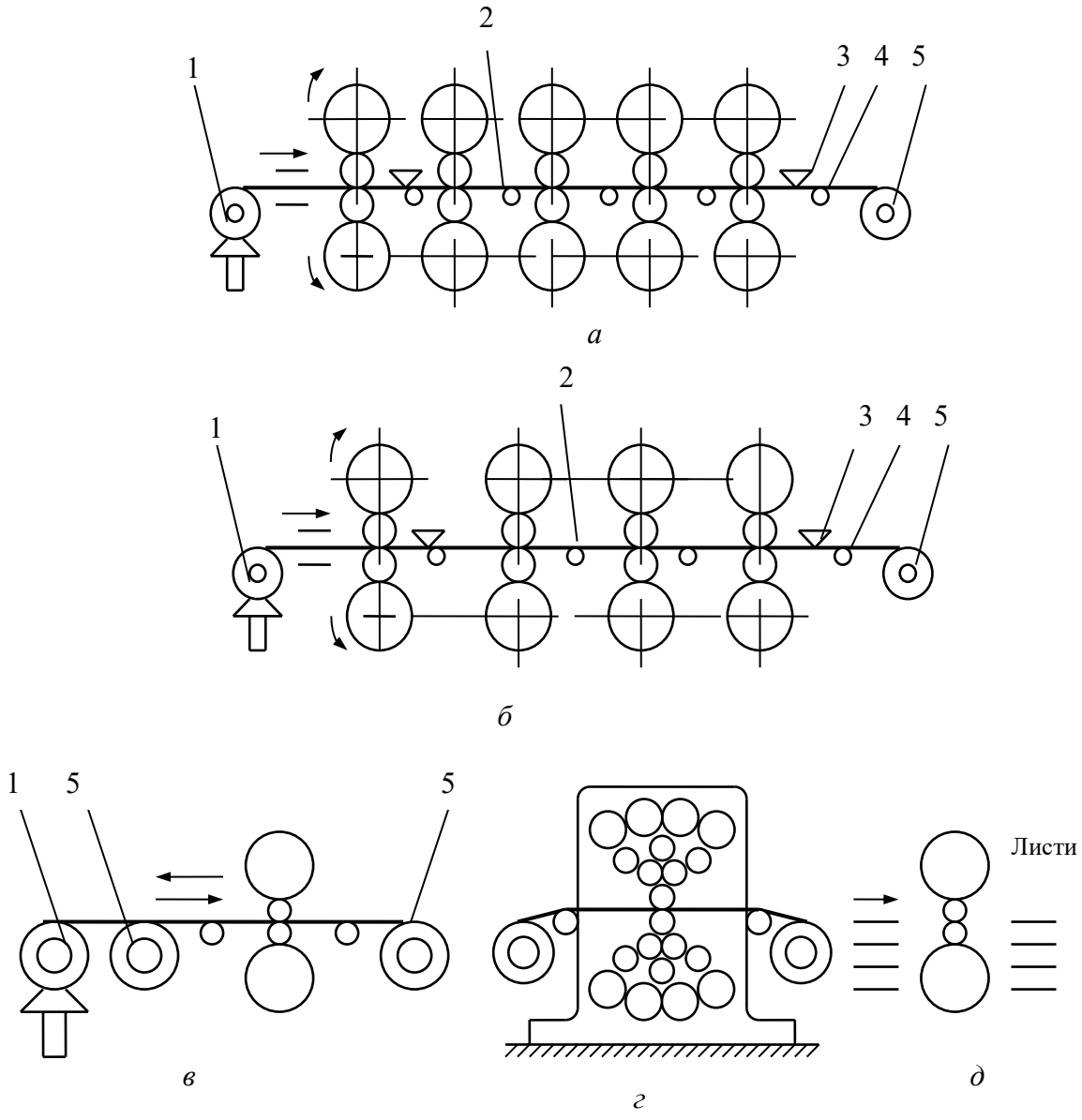
3.1 Аналіз режимів обтисків на сучасних прокатних станах

Залежно від способу виробництва розрізняють стани штабової (безперервні, реверсивні) і полістної (штучної) прокатки.

По призначенню стани холодної прокатки діляться на прокатні, дресирувальні й прокатно-дресирувальні. Найбільш сучасними станами холодної прокатки є безперервні стани [14]. Широко застосовуються реверсивні штабові стани. Стани штучної прокатки мають досить обмежене застосування.

Холодна прокатка рулонної штаби здійснюється на станах різного типу: безперервних чотирьохвалкових (3, 4, 5 і 6-клітьових), реверсивни чотирьохвалкових і багатовалкових (головним чином 20-валкових). На безперервному стані кліті розташовані, можливо, ближче одна до іншої (практично відстань між осями клітей дорівнює 4, 5-5 м). Робочі валки кожної кліті постачені приводом від електродвигуна (одного або двох) постійного струму потужністю 3-5 тис. кВт із регулюванням швидкості в широких межах через шестерну кліть, або без її, і універсальні шпинделі. Рулони протравленої штаби встановлюють за допомогою мостового крана на транспортер і по черзі подають їх до розпускача 1 (рис. 3.1).

Валки всіх клітей обертаються з так званою заправною швидкістю (0,5 - 1 м/с). Передній кінець штаби на рулоні відгинається магнітним відгибателем, через провідковий стіл подається послідовно у валки кожної кліті й заправляється в щілину барабана моталки 5.



а - п'яти (шести)-клітьовий безперервний стан; б - трьох (чотирьох)-клітьовий безперервний стан; м - 20-валковий стан; д - нереверсивний одноклітьовий стан для прокатки листів з пачки; 1 - розмотувач; 2 - вимірювач натягу штаби; 3 - вимірювач товщини штаби летучий мікрометр); 4 - напрямний ролік; 5 - моталка

Рисунок 3.1 – Схеми станів холодної прокатки

При прокатці тонкої штаби (до 0,5 мм) кінець її в щілину барабана не заправляється, а намотується на барабан (перші 2-3 витка) за допомогою ремінного заправника.

З метою автоматичного регулювання товщини штаби встановлені ролики 2 для виміру натягу штаби й летучих мікрометрів (товщиномери 3 за першою й останньою клітями). Між останньою кліттю й моталкою передбачений напрямний ролик 4.

Після заправлення переднього кінця штаби на барабан моталки швидкість валків всіх клітей збільшується до максимальної робочої швидкості. Процес прокатки рулону триває 5-10 хв залежно від маси рулону.

Перед закінченням прокатки швидкість валків зменшується: рулон прокачаної штаби зіштовхується з барабана моталки і направляється на отжиг або електролітичне очищення.

Для зменшення тиску металу на валки при прокатці й можливості «викочування» тонкої штаби у валках щодо великого діаметра в процесі прокатки на штабу подається змащення (при прокатці жерсті - пальмове масло або його замінники; при прокатці більше товстих штаб - масляна емульсія).

Як правило, прокатка штаби на безперервному стані здійснюється за один прохід. У деяких (наприклад, при прокатці кременистої трансформаторної сталі) для одержання необхідних товщин готової штаби і її властивостей (магнітних, механічних) після першого проходу рулон піддають відпуску й потім прокочують удруге на цьому ж стані [15]. Стани холодної прокатки, крім основного встаткування (рис. 3.1 *д)*, ще оснащені: машинами й механізмами, що забезпечують приймання й укладання їхньої пачки, транспортування рулонів або пачок після прокатки; пристроями для регулювання величини петлі й натяги, а також системами для подачі технологічного змащення й охолодної рідини. На сучасних станах холодної прокатки застосовують кліті кварто або багатовалкові кліті.

Тип і параметри основного встаткування станів холодної прокатки визначаються розмірами й механічними властивостями штаб, що прокочуються, і аркушів, а також масою й розмірами вступників рулонів. На вибір типу стана істотний вплив роблять вимоги, пропоновані до якості й точності продукції.

Безперервні стани холодної прокатки характеризуються великою продуктивністю й високим ступенем автоматизації. Вони призначені для випуску порівняно вузького сортаменту штаб і встановлюються в спеціалізованих цехах з більшим обсягом виробництва. Залежно від сортаменту штаб, що прокочуються, безперервні стани мають від трьох до шести робочих клітей.

В 1969 році на заводі фірми «Ниссин сэйко» у Сюнане (Японія) був пущений перший у світі безперервний стана із двадцятивалковими клітями системи Сендзимира. Особливістю цього стана є те, що крім чотирьох робітників двадцятивалкових клітей є ще дві кліті дуо. Кліті дуо встановлені в головній і хвостовій частинах стана й служать для відглажування відповідно до вихідній і кінцевій неплощинності штаб, а також для вирівнювання натягів по ширині штаби.

У цей час одержали найбільше поширення чотирьох- і пятиклітьового безперервні стани, оснащені клітями кварто.

Трьохклітьові безперервні стани кварто застосовуються для холодної прокатки штаб з вуглецевих марок сталей товщиною 0,6-3,0 мм і шириною 650-1850 мм.

Як вихідні заготівлі застосовують горячекатану штабову сталь товщиною 2-5 мм у рулонах масою 5- 25 т.

Трьохклітьові стани мають валки з довжиною бочки до 2030 мм. Швидкість прокатки на цих станах становить 3-15 м/с, а їхня річна продуктивність досягає 0,3-0,6 млн. т.

У табл. 3.1 наведені характеристики деяких треьохклітьові безперервних станів.

У виді обмеженості сортаменту штаб, що випускаються, трьохклітьові стани холодної прокатки в цей час не будуються.

Чотирьохклітьові безперервні стани застосовуються для прокатки штаб з вуглицевих і легованих сталей товщиною 0,3-3,5 мм, шириною до 2350 мм. Довжина бочки валків цих станів 1380-2500 мм, діаметри робочих валків 500-600 мм, опорних валків 1300-1600 мм. Швидкість прокатки на чотирьохвалкових станах досягає 20-25 м/с, а їхня річна продуктивність 1,2-1,5 млн. т.

Підкатом для чотирьохвалкових станів служить горячєкатана штабова сталь товщиною 1,5-6,5 мм у рулонах масою до 25-35 т. Сумарні обтиснення при прокатці на чотирьохклітьових безперервних станах перебувають у межах 50-80%.

У табл. 2.1 наведені характеристики чотирьохклітьових безперервних станів.

Пятиклітьові безперервні стани призначені для прокатки штаб з вуглицевих і легованих сталей товщиною 0,15-3,0 мм, шириною до 2080 мм.

Довжина бочки валків пятиклітьових станів дорівнює 1200-2210 мм, а діаметри робочих і опорних валків відповідно 500-660 мм і 1300-1525 мм.

Підкатом для пятиклітьових безперервних станів служить горячекатана штаба товщиною 1,2-6,5 мм у рулонах масою до 45-60 т. Сумарні обтиснення при прокатці на пятиклітьових станах досягають 85-90 %.

Залежно від призначення розрізняють пятиклітьові жестепрокатні стани й пятиклітьові стани, призначені для прокатки штаб широкого сортаменту, включаючи сортамент чотирьохклітьових безперервних станів і частково сортамент жестепрокатних станів.

Пятиклітьові безперервні стани, призначені для прокатки штаб широкого сортаменту мають довжину бочки валків 1700-2210 мм і швидкість до 25-30 м/с. Продуктивність цих станів досягає 1,8 млн. т у рік.

Широкий сортамент (0,15-3,0 мм) і більша продуктивність (0,8-1,8 млн. т у рік) пятиклітьових безперервних штабових станів роблять їхнє застосування в більшості випадків більше кращими, чим чотирьохклітьові безперервних станів.

Крім того, сучасні пятиклітьові стани більш повно відповідають підвищеним вимогам, пропонованим до якості й точності листової продукції.

Шестиклітьові безперервні стани холодної прокатки тонкої жерсті товщиною 0,08-0,15 мм і тонких штаб товщиною до 1 мм, шириною до 1300 мм. Жерсть, прокачана на цих станах, може бути товарною продукцією або служити підкатом для виробництва найтоншої жерсті - фольги товщиною 0,03 - 0,076 мм.

Параметри устаткування шестиклітьових станів відповідають параметрам пятиклітьових жестепрокатних станів. Максимальна швидкість прокатки становить 40 м/с, маса рулонів, що прокочуються, досягає 30-45 т.

Річна продуктивність шестиклітьових станів становить 500-700 тис. т.

Підкатом для шестиклітьових станів служать горячекатані штаби товщиною 1,5-3,5 мм. Сумарне обтиснення при прокатці досягає 95%. У табл. 2.1 наведені характеристики шестиклітьових станів.

Таблиця 3.1 – Короткі технічні характеристики безперервних станів холодної прокатки штаб

Завод, фірма країна	Діаметр валків, мм робочих/ опорних	Товщина початкового підкату, мм	Розмір готових штаб, h x b, мм	Максимальна швидкість прокатки, м/с	Загальна потужність двигунів клітей, кВт	Тип робочих клітей	Довжина бочки валків, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
Трехклітьові стани							
Еббі Воркс, Англія	585/1325	до 3,5	0,62...1,95 х до1850	10,2	12700	Кварто	2030
Детройт Сил Корп., Англія	535/1450	1,9...4…4,6	0,6...3,1х х 450...1250	13,7	11500	Кварто	1370
ММК, Росія	450/1120	до 3	0,5...1,5 х до 1250	6,2	4600	- II -	1450
Чотирьохклітьові стани							
Стіл компонир Канада	585/1525	1,8...6…6,0	0,34...3,4х х 600...1880	1,73	Дані відсутні	Кварто	2030
ім. Ілліча, Україна	500/1300	1,8...5…5,0	0,4...2,0х х 700...1550	25	16800	- II -	1700
Гіндустан Айрон енд Стіл, Індія	600/1600	1,8...5…5,0	0,4...2,0х х 700...1850	20	33600	- II -	2000
Аугуст Тіссен Німеччина	585/1525	-	0,4...2,75 х х 750...1850	20,0	28000	- II -	2030
Уралмаш, Росія	500/1400	-	0,4...2,5 х х 600...1550	25	42200	- II -	1700
ММК, Росія	500/1400	1,5...5…5,0	0,6...2,5х х 1050...2350	21	28800		
Ніссін Сейко, Японія	68,1-85,85	1,6...6…6,48	0,3...4…4,0	10	-	20-ти	-
Пятиклітьові стани							
ММК Росія	500/1300	2,3...3…3,5	0,18...1,0х х 500...1050	35,0	22400	Кварто	1200
Уіртон Стіл США	585/1422	Дані відсутні	0,18...1,0 х х 1000...1220	30,5	20710	- II -	1320
Крчмк Казахстан	600/1500	1,8...6…6,0	0,4...3,5х х 700...1550	25,0	44200*	- II -	1700
Коніклейкс стілфабрікен Нідерланди	610/1525	До 6,35	0,25...3,17 х х 580...2050	25,5	36	- II -	2010

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Ройял Нідерланд бласт Фурнес енд Стіл Плант, Нідерланди	610/1525	до 6,35	0,3...4…4,0	45	30600	- II -	2210
Янгстоун Шити Тьюб США	585...600 1525	1,8...4… 4,2	0,23...2,65х х до 1880	30,2	28320	- II -	2030
Явата Айрон енд Стіл Корп., Японія	660/1525	2,0...6… 6,5	0,25...3,2х х 510...2080	30,5	20710	- II -	2185
Сін Ніппон Сейтецу Японія	660/1525	2,0...6… 6,5	0,25...3,2х х 510...2080	30,5	Дані відсутні	- II -	2285
Нешнл Стіл США	585/1525	1,2...4…4, 75	0,15...1,24х х 610...1230	32,7	21140***	- II -	1370
НЛК Росія	615...550 1455...1320	1,8...6…6, 0	0,35...3,5х х 910...1850	31,7	41000*** *	- II -	2000
Шестиклітьові стани							
Міннесман Германія	610/1445	Дані відсутні	0,15...1,0 х х 600...1300	40,1	32500	- II -	1450
Кавасакі Стіл До Японія	585/1420	Дані відсутні	0,1...1,0 х х 508...1300	30,1	24200	- II -	1420
Крчмк Казахстан	600...570/ 1400...1320	1,8...3… 3,0	0,1...0,6х х 700...1250	33,0	33000**	- II -	1420
Янгстаун Шитий енд Тьюб	610/1445	1,88...3… 3,5	0,15...1,0х х 560...1170	30,1	24200	- II -	1320

* - потужність по клітях: $N_1 = 2900$; $N_2 \dots N_5 = 2$ х (2 х 2400), кВт

** - потужність по клітях: $N_1 = 3000$; $N_2 \dots N_6 = 2$ х 3000, кВт

*** - потужність по клітях: $N_1 = 3200$; $N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = 4530$, кВт

**** - потужність по клітях: $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = 4,0$ х 2050, кВт

Важливим етапом у розвитку безперервних станів холодної прокатки штаби є розробка способу прокатки штаб нескінченної довжини. Відмінною рисою цього способу є безперервність процесу прокатки в межах даного замовлення або в період між перевалками, що сприяє збільшенню

продуктивності стана, стабілізації розмірів вихідної штаби й збільшенню терміну служби валків.

Спосіб прокатки штаби нескінченної довжини розроблений у Японії й в 1971 г застосований на пятиклітьовому безперервному стані 1420.

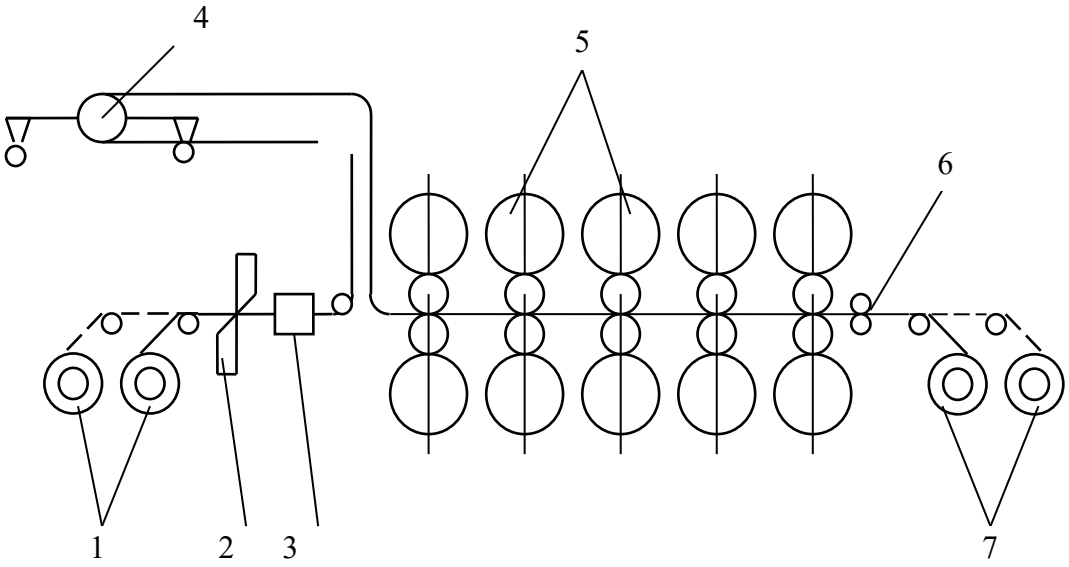
На рис. 3.2 наведена схема пятиклітьового стана 1420, призначеного для прокатки жерсті й тонких штаб товщиною 0,15-1,6 мм зі швидкістю до 30,5 м/с. Річна продуктивність стана становить 1,2 млн. т.

Для одержання штаби нескінченної довжини кінці штаб перед станом зварюються. Із цією метою в головній частині стана передбачена установка двох розпускувачів 1 з відгибателями кінця штаби, ножиці 2, стыкосварочної машини 3 і накопичувачі (акумулятора) штаби 4. За робочими клітями 5 установлені летучі ножиці 6 і дві моталки 7.

На стані 1420 передбачається також установити систему автоматичного регулювання петлі перед станом і систему автоматичного виявлення зварених швів з метою ідентифікації розмірів штаби в зоні звареного шва з розмірами штаби в іншій частині.

Принцип нескінченної прокатки реалізований уперше в Європі на пятиклітьовому НСХП 2030 Новолипецкого металургійного комбінату, що має наступні технічні параметри: довжина бочки валків -2030 мм; діаметри бочок робочого й опорного валків - 615 і 1600 мм; максимальна швидкість прокатки - 31,6 м/с; сумарна потужність головних приводів - 48500 кВт; вихідна й кінцева товщини штаб 1,8...6 мм і 0,35...3,5 мм; ширина штаби - 900...1850 мм; маса рулону - до 45 т; матеріал штаб - вуглецеві й конструкційні сталі. Состав устаткування вхідної сторони стана дозволяє вести як нескінченну, так і звичайну порулоної прокатку.

Поперечна різнотовщинність знижується за рахунок застосування профілювання валків, однак цей спосіб не завжди ефективний внаслідок широкого сортаменту штаб, що прокочуються на валках з одним профілюванням [16].



1 – розмотувач; 2 – ножиці; 3 – сварочна машина; 4 –накопичувач штаби (акумулятор); 5 – кліть;
6 - літучі ножиці; 7 – моталка

Рисунок 3.2 – Схема пятиклітьового стана 1420

При розрахунку режимів обтиснень на станах холодної прокатки визначають товщину вихідного підкату, величини обтиснень по клітях (проходам), швидкісний режим прокатки, вибирають режими натягів, розраховують тиск на валки й потужність прокатки, роблять перевірку валків на міцність і визначають ступінь завантаженості приводних двигунів.

Раціональний режим обтиснень повинен забезпечити максимальну продуктивність стана, високу точність штаб і найкраще використання встаткування стана.

При розробці раціонального режиму обтиснень ураховують рівність обсягів металу, що проходить по клітях за секунду, міцність валків, натяг штаби, потужність двигунів головного привода, вимоги до точності розмірів і форми штаби, вимоги до механічних властивостей аркуша.

Розподіл обтиснень по клітях (проходам) виробляється по двох принципово різних схемах.

По першій схемі відносні обтиснення зменшуються від першої кліті до останнього. Такий розподіл обтиснень припускає максимальну деформацію металу при відносно більших товщинах штаби, що є енергетично вигідним. Невеликі обтиснення в останній кліті забезпечують одержання штаб з мінімальною неплощинністю. Ця схема застосовується при прокатці щодо товстих штаб, а також при прокатці тонких штаб з підкату з мінімальної різнотовщинністю й гарної планшетністю. До недоліків цієї схеми варто віднести те, що при прокатці на заправній швидкості тиск металу на валки в першій кліті значно зростає в порівнянні з тиском при сталому процесі, тому що прокатка в зазначеному періоді ведеться без натягу.

По другій схемі відносні обтиснення в першій кліті нижче, а наступних клітях, у тому числі й в останньої, вище, ніж по першій схемі. При цьому прокатка в останній кліті може здійснюватися з відносними обтисненнями, рівними або навіть трохи більшими, ніж у попередніх клітях.

Зменшення величини обтиснення в першій кліті безперервного стана обумовлено незадовільною точністю (значної поздовжньої різнотовщинністю

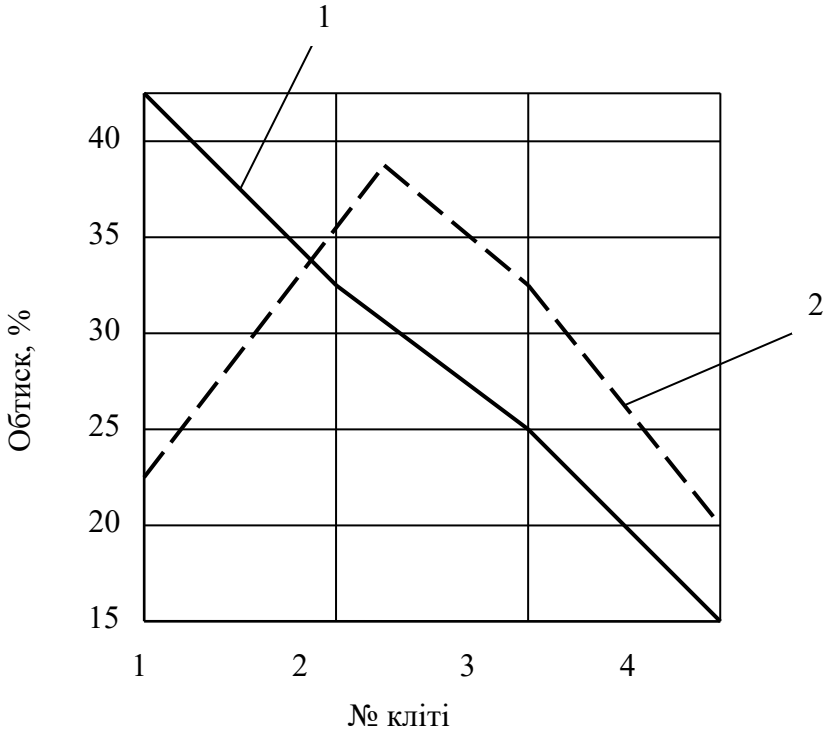
й неплощинністю) горячекатаного підкату. Це забезпечує зменшення неплощинності й у деякій мері зменшує поздовжню різнотовщинність горячекатаного підкату. Звичайно величина обтиснень у першій кліті безперервного стана, коли прокатка ведеться по другій схемі, становить 10-25%. В останні роки спостерігається тенденція до збільшення обтиснень у перших клітях чотирьох- і пятиклітьових станів до 25-35%. Це пов'язане з підвищенням точності підкату в результаті впровадження на широкополосних станах гарячої прокатки систем автоматичного регулювання товщини й систем автоматичного регулювання профілю й форми штаби.

У табл. 3.2 наведений приклад сумарних і приватних обтиснень по клітях безперервних станів холодної прокатки [14], у табл. 2.3 - режим обтиснень при холодній прокатці штаб на безперервному пятиклітьовому стані 1200 [17], а на рис. 3.3 - розподіл обтиснень по клітях безперервних станів.

Для важкодеформіруемих сталей застосовують менші обтиснення, чим для м'яких, і не допускають, щоб питомий тиск металу на валки перевищувало 200 кг/мм^2 (2000 МПа), тому що виходять із ладу робочі й опорні валки через викрашування поверхні їхніх бочок.

Таблиця 3.2 – Сумарні й приватні обтиснення по клітях БСХП

№ п/п	Стан	Сумарне обтиснення, %	Приватні обтиснення по клітях, %					
			I	II	III	IV	V	VI
1	Трьохклітьовий	40-60	30-50	15-50	5-15	-	-	-
2	Чотирьохклітьовий	50-80	10-35	25-45	25-45	20-25	-	-
3	Пятиклітьовий	60-90	10-35	35-45	35-45	25-40	25-35	-
4	Шестиклітьовий	80-95	25-35	25-35	25-35	25-35	25-35	25-35



1 – на стані 1680; 2 – на стані 1700

Рисунок 3.3 – Розподіл обтискування по клітях безперервних станів

Таблиця 3.3 – Режими обтиснень при холодній прокатці штаб на безперервному пятиклітьовому стані 1200

№ кліті	Товщина штаби, мм		Обтиснення за прохід		Сумарне обтиснення, %
	до проходу	після проходу	абсолютне, мм	відносне	
1	2,20	1,95	0,25	11,4	11,0
2	1,95	1,08	0,87	44,8	51,0
3	1,08	0,67	0,41	39,0	70,0
4	0,67	0,43	0,24	38,0	80,0
5	0,43	0,25	0,18	42,0	88,0

Розглянуті режими обтиснень у табл. 3.3 застосовують у більшості випадків при прокатці жерсті й штаб товщиною 0,4-0,6 мм. При прокатці порівняно товстих штаб, які звичайно прокочують на чотирьохклітьових безперервних станах, четверта кліть повинна бути оздоблювальної, а тому обтиснення в ній невеликі. Це дозволяє звести до мінімуму кількість беззамовлених аркушів по товщині, тому що при цьому легше прокочувати й випускати задні кінці штаб без натягу, а також підвищується ефективність застосування тонкого автоматичного регулювання товщини штаби.

Як приклад у табл. 3.4 наведені режими обтиснень при прокатці штаб на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680. У табл. 3.5 наведені характерні режими обтиснень при прокатці штаб з вуглицевої стали на безперервному чотирьохклітьовому стані 2020 заводу Зальцгиттер (Німеччина).

Таблиця 3.4 – Режими обтиснень при холодній прокатці штаб зі сталей 05 кп, 08 кп, 10 кп, 05 пс і 08Ю на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680.

Вихідна й кінцева товщини штаби, мм	№ кліті	Товщина штаби, що виходить із кліті, мм	Обтиснення		Сумарне обтиснення, %
			абсолютне, мм	Відносне, %	
1	2	3	4	5	6
2,1-0,5	1	1,35	0,65	32,5	32,5
	2	0,87	0,48	35,6	56,7
	3	0,60	0,27	31,0	70,0
	4	0,50	0,10	16,7	75

Продовження таблиця 2.4

1	2	3	4	5	6
2,7-0,8	1	1,80	0,90	33,4	33,4
	2	1,25	0,55	30,6	53,8
	3	0,95	0,30	24,0	65,0
	4	0,80	0,15	15,9	70,5

Таблиця 3.5 – Режими обтиснень при холодній прокатці штаб на безперервному чотирьохклітьовому стані 2020 (Німеччина)

Вихідна й кінцева товщини штаби, мм	№ кліті	Товщина штаби, що виходить із кліті, мм	Обтиснення		Сумарне обтиснення, %
			абсолютне, мм	Відносне, %	
2,0-0,90	1	1,60	0,40	20,0	20,0
	2	1,28	0,32	20,0	36,0
	3	1,00	0,28	22,0	50,0
	4	1,00	0,28	22,0	50,0
2,0-0,64	1	1,55	0,45	22,5	22,5
	2	1,05	0,50	32,0	47,5
	3	0,75	0,30	28,5	62,5
	4	0,64	0,11	14,5	68,0

Як видно з табл. 3.5, на цьому стані прокатка ведеться з відносно невеликими обтисненнями в першій і четвертій клітях. Такий розподіл обтиснень є найбільш раціональним, тому що дозволяє вирівнювати товщину штаби в першій кліті й одержувати рівні штаби в четвертій кліті.

3.2 Заходи з поліпшення якості поперечного профілю

При виборі обтиснень по клітях і сумарному обтисненні враховують ступінь наклепу стали, тобто зміна механічних властивостей її в процесі прокатки, що допускаються відхилення по товщині готових аркушів і штаб, твердість валків і клітей, а також профіль, якість і твердість поверхні валків і т.д. При цьому прагнуть повніше використовувати міцні й енергетичні можливості стана. Раціональний режим обтиснень забезпечує рівномірний

розподіл тиску металу на валки в окремих клітях і максимально можливу продуктивність стана.

Режим обтиснень на чотирьохклітьовому стані 1680 характеризуються малими обтисненнями в останніх клітях 12,3-13,8% і більшими обтисненнями в перших клітях 35-44%.

Мінімальні товщини металу, що прокатується з підкату товщиною 2 мм у ЦХП-1 на чотирьохклітьовому стані 1680, становлять для сталей: Ст.1 -0,5 мм; стали 20 - 0,7 мм; стали 12Г2А - 1,0 мм (з підкату 2,3 мм).

Для одержання штаб менших товщін на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680, для сталей Ст. 1 - 0,4 мм, стали 20 - 0,5 мм і 12Г2А - 0,6 мм., режими обтиснень характеризуються малими обтисненнями в останніх клітях і ще більшими обтисненнями в перших клітях. Так, при прокатці штаб зі сталі Ст1 обтиснення в першій кліті досягає 44%, а в четвертої 14,9%. Для сталі 20 відносне обтиснення в першій кліті - 32,5%, у четвертої - 12,3 %.

Такі режими обтиснень не враховують особливостей роботи першої кліті стана на заправній швидкості.

Під час прокатки на заправній швидкості тиск у першій кліті дуже сильно зростає, а під час сталого процесу прокатки зменшується. Крім того, у першій кліті прокочують до заданої товщини стовщені кінці горячекатаної штаб, а також зварених швів, при порулоної прокатці.

Виходячи із цього, необхідно передбачати певне недовантаження кліті під час сталого процесу прокатки.

Підвищення обтиснень приводить до збільшення питомого тиску на валки, а воно не повинне перевищувати 2000 Мпа, тому що виходять із ладу робочі й опорні валки через викрашування поверхні їхніх бочок, що істотно впливає на якість поверхні штаби, що прокатується, крім того, знижується механічна міцність вузлів кліті стана.

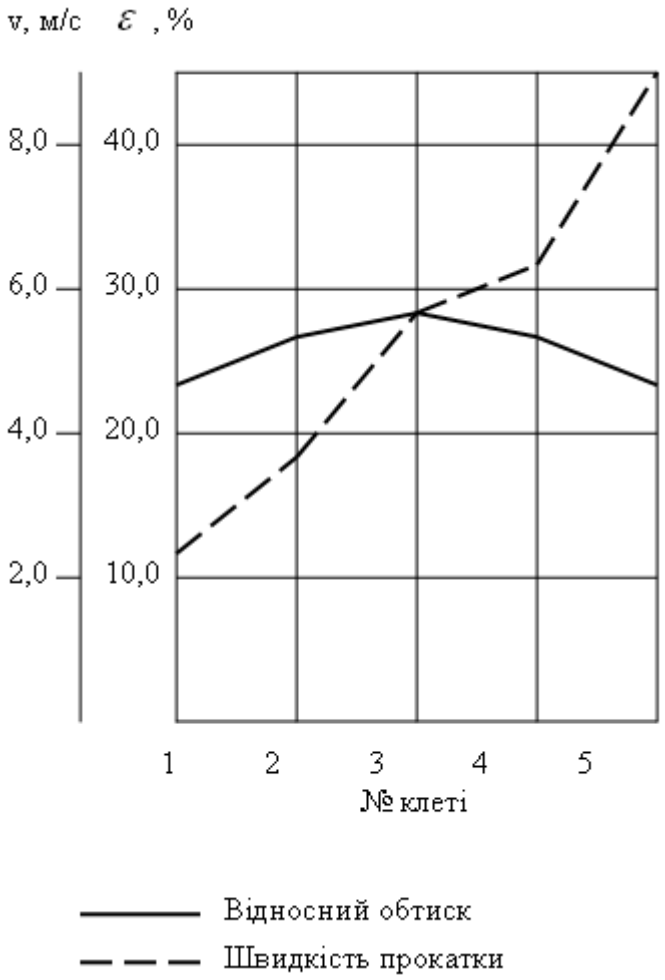


Рисунок 3.4 – Графики режимів деформації сталі 20

Аналізуючи проведений літературний огляд і розрахунок режимів обтиснень, доходимо висновку, що збільшення числа клітей дає можливість прокатувати більше тонку штабу при одній і тій же початковій товщині, використовувати більше товстий прокат, підвищувати точність і якість поверхні готового прокату за рахунок зменшення обтиснення в одній кліті. Це забезпечує підвищення продуктивності і якості готової продукції.

У цей час на сучасних безперервних станах установлюють п'ять клітей, а обтиснення по клітях прагнуть розподіляти рівномірно.

Досвід роботи пятиклітьового стана показав, що прокочувати тонку штабу з більшим обтисненням у першій кліті й з малим у п'ятої неможливо через порив штаби між четвертою й п'ятою клітями. З досвіду роботи інших безперервних пятиклітьових станів треба, що найбільше обтиснення повинне

бути в останніх клітях [17]. Основна перевага такого розподілу обтиснень по клітях полягає в тому, що в останні кліті надходить порівняно товста штаба, чим запобігають пориви її між четвертою й п'ятою клітями.

Й. Биллигман і Й. Ленц встановили, що при прокатці на пятиклітьовом стані оптимальними будуть обтиснення 25-30% у першій кліті й 35-40% в останніх клітях. При такому режимі обтиснень в останніх клітях коефіцієнт тертя зменшується, штаба до них надходить менш наклепанної і більше обтиснення досягається при порівняно малому тиску металу на валки. Варто враховувати також, що при малих обтисненнях у першій кліті різнотовщиності штаб зменшується, що підвищує ефективність застосування грубого автоматичного регулювання товщини штаби за першою кліттю.

Вирівнювання режимів обтиснень по клітях знизить питомий тиск на валки і тим самим дозволить продовжити термін служби валків, якість поверхні яких впливає на якість поверхні штаби і всіх інших вузлів кліті стана.

На якість готової продукцію головну роль грають валки прокатних станів. Валки прокатних станів виконують основну операцію прокатки - деформацію (обтиснення) металу й додання йому необхідної форми поперечного перерізу.

До якості валків прокатних станів пред'являються дуже високі вимоги, тому що вони визначають нормальну роботу стана, його продуктивність і якість прокату, що випускається. Валки працюють в умовах безперервного стирання їхнім металом при прокатці, випробовуючи більші динамічні тиски при більших швидкостях ковзання по металі й іноді при високій і різко мінливій температурі.

Чим вище вимоги до чистоти поверхні штаби, тим вище вимоги до чистоти обробки поверхні валків. Звичайно валки обробляють із тим же ступенем чистоти або на один клас вище того, на підставі якого висувають вимоги до поверхні штаби.

Збільшення служби валків залежить від ряду заходів, які повинні виконуватися відповідно до існуючих інструкцій по експлуатації валків. Одним

з важливих заходів є правильне зберігання й облік роботи валків. Під час роботи стана не слід допускати більших пауз між зміною рулонів щоб уникнути порушення температурного режиму валків.

3.3 Математичне планування експерименту

Завдання математичного планування експерименту полягає в дослідженні величини коефіцієнта вирівнювання форми листа з метою оптимізації форми активної твірної поміж валкового розхилу та режимів обтискувань для отримання пласких листів або штаб в нерегульорованих прокатних клітях. Параметр оптимізації (Y) – коефіцієнт вирівнювання.

Завдання оптимізації вирішується у два етапи: на першому здійснюється пошук області оптимуму, для чого застосовується лінійна модель поверхні відгуку; на другому - опис оптимальної області.

Досліджувані фактори, характер їхніх змін і схеми кодування наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	Нерівномірність розподілу витяжок $\Delta\mu$	Узагальнена витяжка μ	Зусилля прокатки P, кН
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	0,01	1,25	4,5
Інтервал варіювання	0,06	0,1	1,0
Нижній рівень (кодоване значення -1, -)	-0,05	1,15	3,5
Верхній рівень (кодоване значення +1, +)	0,07	1,35	5,5

Для побудови плану дробового факторного експерименту в роботі [2] з таблиці 4.3 вибираємо дробову репліку 2^3 наступного виду: abc, c, a, b. Записуємо дробову репліку в розгорнутому виді (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер досвіду	Значення факторів у кодованому виді			
	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	–	–	+
3	+	+	–	–
4	+	–	+	–

Фактор, позначений «X_0» – так називаємо фіктивну змінну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт «b_0».

Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожному стовпці втримувалося рівне число мінусів і плюсів. Умова виконується.

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досвіди варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії досвіду S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Yoi - Yo)^2}{f_1}$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля;

Yoi – значення параметра оптимізації в і-ом дублі;

Yo – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число ступенів волі ($f_1 = n - 1$).

Для визначення дисперсії досвіду були організовано досліди 5-7 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації:

досвід 5 – 2,05 мкм; досвід 6 – 2,11 мкм; дослід 7 – 2,18 мкм.Визначаємо S_y^2. Становимо розрахункову таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	y_e	$\lvert y_{oe} - y_o \rvert$	Δy_e^2
5	2,05	0,063	0,003969
6	2,11	0,003	0,000009
7	2,18	0,067	0,004489
	$y_0 = 2,113$		$\sum \Delta y = 0,0085$

Тоді

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Yoi - Yo)^2}{f_1} = \frac{0,0085}{3-1} = 0,00425;$$

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх дослідів матриці планування по їхніх результатах будують математичну модель досліджуваного процесу. Для цього при використанні ДФЕ розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^{n} \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N}$$

де b_j – значення *j-го* коефіцієнта регресії;

X_{jn} – значення *j-го* фактора в *n-ом* досліді в кодованому виді;

Y_n – значення параметра оптимізації в *n-ом* досліді;

N – число дослідів у матриці планування.

У результаті одержують модель, що має такий вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + ... + b_j X_j$$

У реалізованій матриці планування отримані наступні результати (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Результати дослідів

Досвіт	1	2	3	4
Результат	7,914	-4,797	9,116	-3,938

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = 1/4 \cdot [7{,}914 - 4{,}797 + 9{,}116 - 3{,}938] = 2{,}074;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot [7{,}914 + 4{,}797 + 9{,}116 + 3{,}938] = 6{,}44;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot [7{,}914 + 4{,}797 - 9{,}116 - 3{,}938] = -0{,}086;$$

$$b_3 = 1/4 \cdot [7{,}914 - 4{,}797 - 9{,}116 + 3{,}938] = -0{,}515.$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$y = 2{,}074 + 6{,}44 \cdot X_1 - 0{,}086 \cdot X_2 - 0{,}515 \cdot X_3.$$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджуваного об'єкта.

Аналіз складається із двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значимість коефіцієнтів регресії. У статистику прийнято здійснювати перевірку значимості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Ст'юдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів:

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi}$$

де S_{bi} – средньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}$$

$t_{\alpha,f1}$ – значення критерію Ст'юдента, що вибирається залежно від рівня значимості α і числа ступенів волі при визначенні дисперсії досліду f_1.

Значення коефіцієнтів регресії порівнюємо з Δb_i і ті, які виявляються від абсолютній величині менше довірчого інтервалу, виключають із рівняння.

На другому етапі остаточно отримане рівняння перевіряємо на адекватність, тобто його придатність для опису об'єкта дослідження.

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії Δb_i. Для цього спочатку визначимо S_{bi}.

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0{,}00425}{4}} = \pm 0{,}0326$$

Вибираємо для $\alpha = 0{,}05$ й $f_1 = 2$ значення критерію Ст'юдента, рівне 4,3 [25].

Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 0{,}0326 = \pm 0{,}14 .$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт «b_2» виявився статично незначимий, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$\acute{o} = 2{,}074 + 6{,}44 \cdot \tilde{O}_1 - 0{,}515 \cdot \tilde{O}_3 .$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх дослідів значення «X_i» у кодованому виді, які беремо з таблиці 3.7. Для визначення дисперсності неадекватності становимо розрахункову таблицю 3.10. Таблиця 3.10 становимо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх дослідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації ($y_{розр}$). Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S^2_{íåàä} = \frac{\sum_{n=1}^{N}\left(y_n^{åêñïåð} - y_n^{ðîçð}\right)^2}{f_2}$$

де $f_2 = N – K'$, K' – число коефіцієнтів моделі, включаючи b_0.

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють із табличним, котре вибирають із таблиці в роботі [2] залежно від рівня значимості α і числа ступенів волі f_1, f_2.

$$F^{ðîçð}_{f1,f2} = \frac{S^2_{íåàä}}{S^2_y}$$

$$S^2_{íåàä} = \frac{0{,}0294}{4-3} = 0{,}0294;\ F^{ðîçð}_{f1,f2} = \frac{0{,}0294}{0{,}00425} = 6{,}92.$$

З таблиці [25] для α = 0,05; $f_1 = 2$ і $f_2 = 1$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 10,3.

Таблиця 3.10 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення y		$\lvert\Delta y\rvert$	Δy^2
	Експеримент	Розрахунок		
1	7,914	7,999	0,085	0,007225
2	-4,797	-4,881	0,084	0,007056
3	9,116	9,029	0,087	0,007569
4	-3,938	3,851	0,087	0,007569
				∑ = 0,0294

Таким чином, умова адекватності моделі $F^{ðîçð} < F^{òàáë}$ виконується й нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна

алюмінієвих сплавів залежно від умов термообробки. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель описує процес термообробки сплавів тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Інтерпретація результатів. Отримана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої крапки вивченого факторного простору.

Крім того, отриману залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих факторів на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що всі інші фактори фіксують на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення фактора X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком «–»). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора X_1 на нижньому, основному й верхньому рівнях, тобто –1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність середнього розміру зерна від температури відпалу (фактор X_1) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$\acute{o} = 2{,}074 + 6{,}44 \cdot \tilde{O}_1$$

Визначимо *y* для випадків, коли X_1 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення *y*, рівні: -4,366; 2,074; 8,514.

Аналогічно представимо графічну залежність середнього розміру зерна від величини щодо обтиснення (фактор X_3) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$\acute{o} = 2{,}074 - 0{,}515 \cdot \tilde{O}_3$$

Визначимо *y* для випадків, коли X_1 = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення *y*, рівні: 2,589; 2,074; 1,559.

Будуємо графічні залежності коефіцієнта вирівнювання форми листа (Кв) від нерівномірності розподілу витяжок по ширині листа (Δμ) та зусилля прокатки (Р) (див. рис. 3.5-3.7).

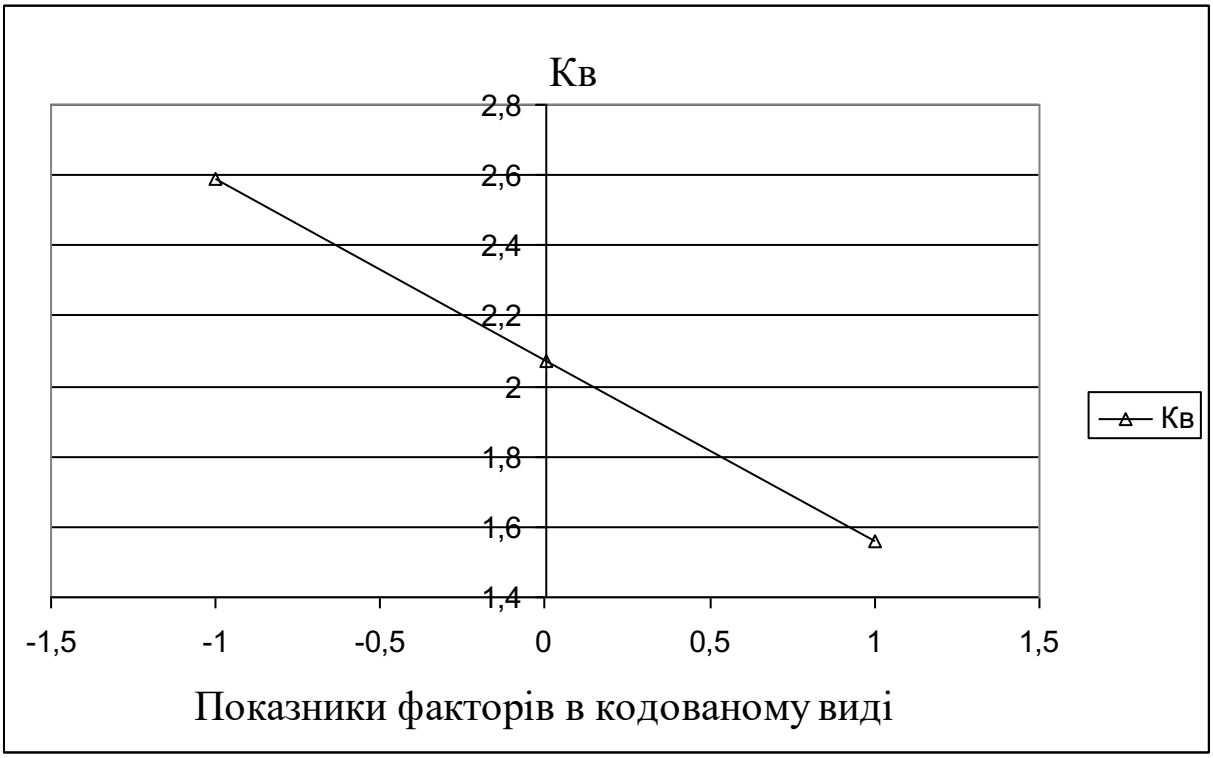


Рисунок 3.5 – Графічна залежність коефіцієнта вирівнювання форми листа (Кв) від нерівномірності розподілу витяжок по ширині листа (Δμ)

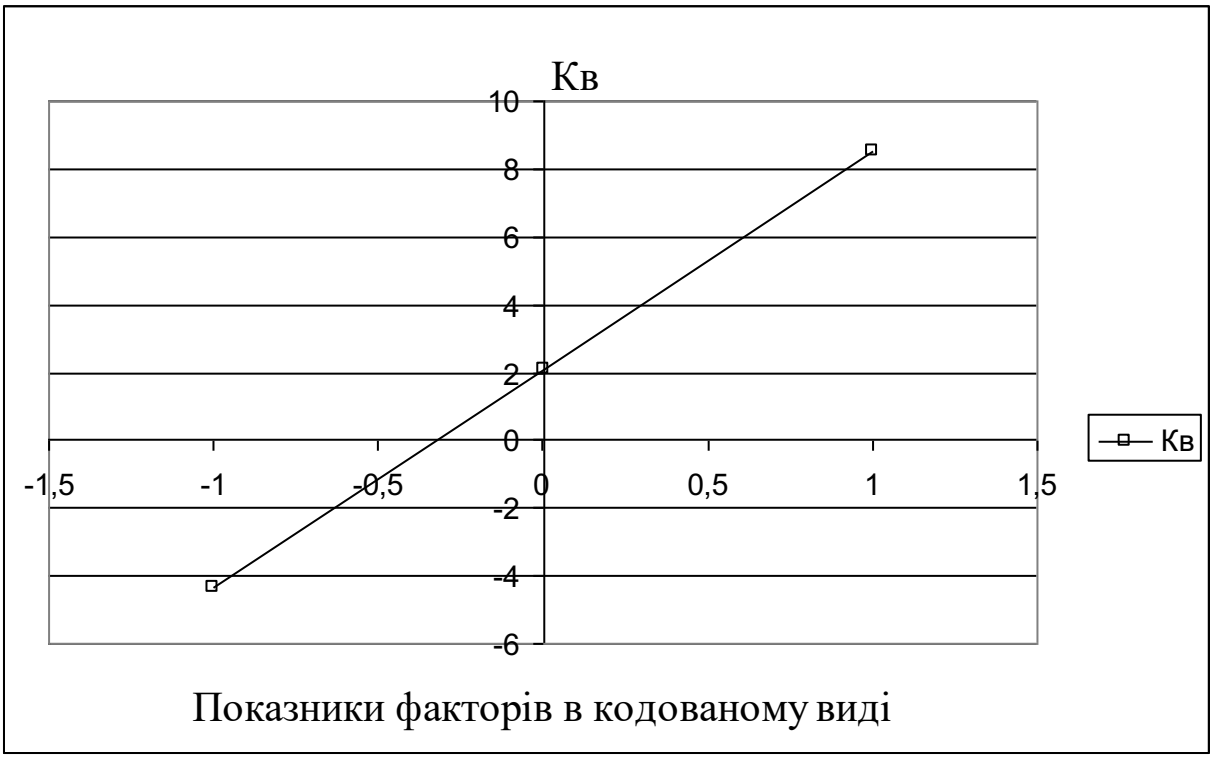


Рисунок 3.6 – Графічна залежність коефіцієнта вирівнювання форми листа (Кв) від зусилля прокатки (Р)

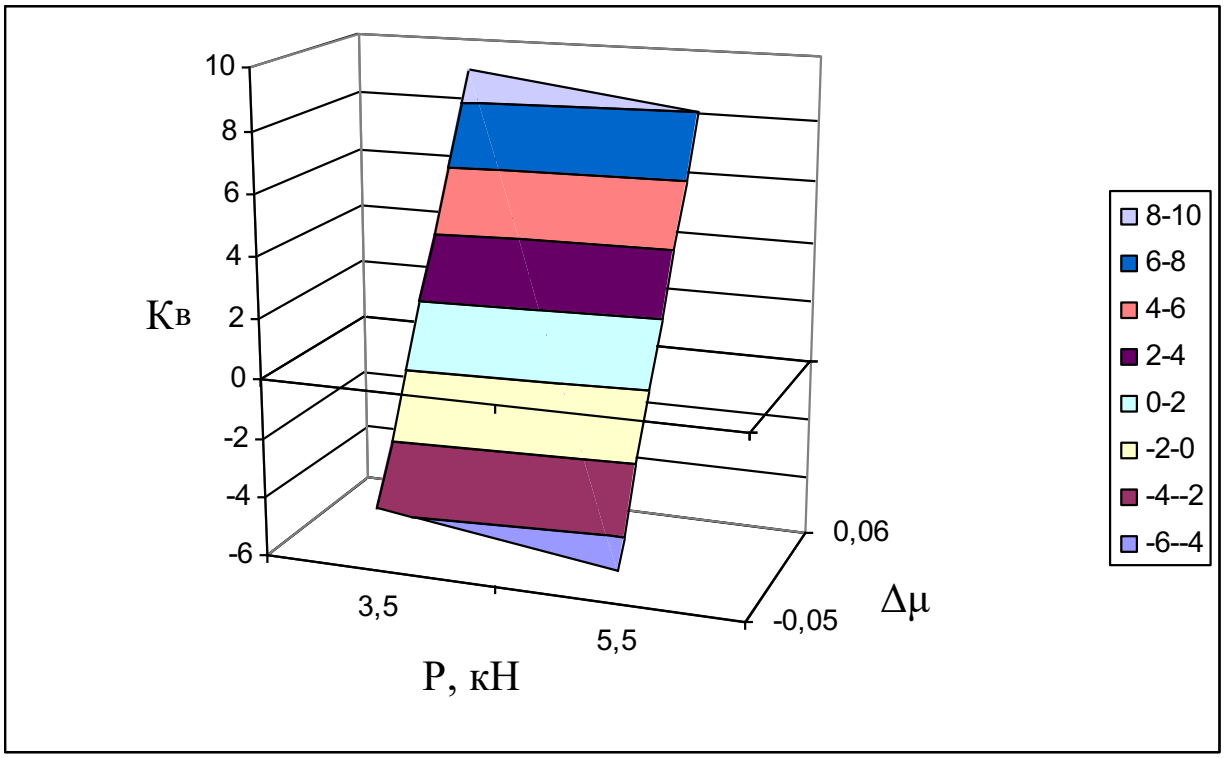


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку коефіцієнта вирівнювання

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Загальні положення охорони праці в лабораторії

Всі співробітники лабораторії для попередження нещасних випадків зобов'язані строго дотримувати правил техніки безпеки, протипожежної профілактики та виробничої санітарії. Неакуратність і недостатнє знання устаткування і правил експлуатації приладів і обладнання можуть викликати нещасний випадок. Виходячи із цього, кожний співробітник, що приступив до виконання дорученого йому завдання, зобов'язаний:

1. Перевірити своє робоче місце, наявність і справність устаткування, апаратури, пристосувань і інструмента, необхідного для виконання завдання.

2. Ознайомитися із правилами техніки безпеки й одержати від свого керівника докладний інструктаж з безпечних прийомів праці. Проведень інструктаж на робочому місці винний бути зафіксований у журналі інструктажу співробітників.

3. До роботи, пов'язаної з використанням електричних установок, приладів, вимірювальних апаратур (напруга до 1000 В), можуть бути допущені співробітники інституту з дозволу начальника лабораторії або особи що його заміняє, знайомство із пристроєм, схемою, правилами експлуатації обладнання, проінструктованого адміністрацією й що здав іспитами на відповідну кваліфікаційну групу, передбачену ПТЕ і ПТБ при експлуатації електроустановок.

4. До самостійного обслуговування високовольтних установок (напругою вище 1000 В), високочастотної та рентгенівської апаратур можуть бути допущені особини, що мають спеціальний допуск на право самостійної роботи й відповідну кваліфікаційну групу по техніці безпеки. Допуск видається кваліфікованою комісією, затвердженої наказом по інституті, строк допуску - 1 рік.

5. Установки, що працюють при високій напрузі, повинні бути постачені правилами технічної експлуатації та інструкціями з техніки безпеки на видному місці.

6. З метою попередження нещасних випадків під час проведення робіт у лабораторії повинні перебувати не менш двох осіб. Один з їх із кваліфікаційної групою не нижче третьої.

7. Струмоведучі частини, що перебувають під високою напругою, повинні бути захищені ізолюючими екранами і постачені попереджуючими надписами білою або червоною фарбою.

8. Всі металеві корпуси електричних установок і приладів повинні бути заземлені.

9. Забороняється користування електричними паяльниками без спеціальних підставок.

10. Всі співробітники лабораторії повинні стежити за якістю ізоляції шнура паяльників, силових кабелів устаткування й настільних ламп. У випадку виявлення ушкодження повідомити відповідальному по техніці безпеки в даній лабораторії. Категорично забороняється користуватися штекерами і несправними вилками для включення в силову мережу.

11. Зборку електричних схем і виміру в них дозволяється проводити тільки при відключеній напрузі живлення.

12. Забороняється залишати без догляду включені схеми і устаткування.

13. Після закінчення роботи кожний співробітник, ідучи з лабораторії, зобов'язаний упорядкувати робоче місце, забрати інструмент, виключити паяльник, вимірювальні прилади і усі вилки із силового живлення.

14. Правила надання першої (долікарської) допомоги потерпілому.

При хімічних отруєннях потерпілого винести на свіже повітря, звільнити від одягу, що стискує подих, а при втраті свідомості - зробити штучний подих. Викликати медичну допомогу.

При пораненнях, щоб запобігти зараженню, необхідно дотримувати наступних правил:

- не доторкатися руками до рани або різними предметами (хусткою, папером, одягом і т.п). Не можна стирати з рани пісок, тому що це тільки забруднює рану;
- у жодному разі не промивати рану ні сирою, ні кип'яченою водою, ніякими ліками, як би вона не була забруднена. Треба лише змазати водою шкіру навколо рани, накласти стерильну пов'язку та доставити потерпілого до лікаря;
- при сильній кровотечі застосовувати здавлювання кровоносних сосудів, що живлять поранену область тіла. Здавлювання може проводитись пальцем, згинанням кінцівки в суглобі, накладенням джгута або закручення. Місце кінцівки, на яку накладається джгут або закручення, повинне бути попередньо обгорнено бинтом або шматком матерії. Перетягання не повинне бути дуже сильним і припиняється, як тільки кров зупиняється.

При переломах і вивихах знайти для ушкодженої кінцівки саме зручне та спокійне положення. До області ушкодження обережно прикладати холодні предмети (пляшки з холодною водою, холодні примочки). Потім прибинтувати до ушкодженої кінцівки шини або їхні предмети, що заміняють (фанера, дошка) так, щоб суглоби нижче місця перелому були нерухомими, і негайно викликати лікаря.

При забитих місцях голови, груди, живота можуть бути ушкоджені внутрішні органи (мозок, серце, печінка й ін.). Якщо потерпілий знепритомнів, його варто негайно доставити в медпункт.

При опіках ушкоджене місце варто змочити етиловим спиртом або слабким розчином марганцевокислого калію або накласти пов'язку з маззю від опіків.

При поразці електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму.

4.2 Правила по техніці безпеки при роботі на прокатному стані

1. Перед початком роботи необхідно підготовити прокатний стан, для чого звільнити проходь біля стану та його площадки від сторонніх речей, перевірити огородження муфт, шпинделів та інших обертових деталей, установити і настроїти проводові столи і проводки.
2. Робота стану перевіряється холостимо ходом, під час якого при необхідності готують валки до прокатки, протираючи та зачищаючи їхні бочки тільки з вихідної сторони стану.
3. Всі роботи, пов'язані з прокаткою виконуються тільки за розпорядженнями керівника або іншої особини уповноваженої на проведення роботи. Студенти - виконавці роботи, повинні бути одягнені в застебнену одежу.
4. Перед пуском стану в роботу переконатися в справності встаткування та попередити при цьому всіх навколишніх.
5. Включення та вимикання стану робити кнопками "пуск" і "стоп". Перед натиском кнопки необхідно переконатись, що працюючий стан нікому не буде загрожувати.
6. При роботі стану забороняється робити установку або настроювання проводок, відкривати або знімати огородження.
7. Категорично забороняється протирати або змазувати обертові валки з боку входу в них металу, а так саме чистити передній стіл і проводки.
8. Не торкатися, не включати та не виключати без дозволу відповідальної особини (керівника роботи, лаборанта) рубильники, автомати та інші прилади.
9. При роботі на стані валки і робоче місце в стану повинні бути добрі освітлені.

10. Під час прокатування короткі зразки (довжиною < 400 мм) задавати руками у валки забороняється, їх підштовхують до валків дерев'яним брусом довжиною не менш 350 мм. Металеві прутки в якості штовхача використовувати заборонено. Зразки довжиною > 400 мм дозволяється задавати у валки руками, утримуючи їх однією рукою за бокові грані, але не в якому разі за верхню і нижню грані. Останнє може привести до притиску руки і її травмуванню об нижній проводковий стіл. Після захоплення зразка валками руку або штовхач необхідно відвести.
11. Якщо при завданні у валки штаби не захоплюється, те необхідно поліпшити умови захоплення, зменшуючи обтиск підняттям верхнього валка або розплющенням переднього кінця зразка молотком на ковадлі. Категорично забороняється вштовхувати метав у валки силою.
12. При роботі зі зразками із свинцю необхідно пам'ятати, що свинець досить ядовитий метав і його не можна брати руками, якщо на них є відкриті подряпини і ранки. Після роботи зі свинцем необхідно ретельно вимити руки. За виконанням цих розумів роботи зі свинцем вважається безпечною.
13. При гарячої прокатки посадку і видачу металу з печі робити металевими кліщами.
14. Відкривати і закривання дверцята печі, а також посадку і видачу металу з печі робити тільки при відключеній печі.
15. Гарячі зразки укладати тільки на азбестові або металеві підкладки. Укладати гарячі зразки на підлогу забороняється.
16. По закінченню роботи інструменти і прокатаний метал необхідно здати керівникові, а стан знеструмити, відключивши рубильник і закрити валки решіткою.

4.3 Пожежна та техногенна безпека при роботі з електроустаткуванням і електроприладами

Всі співробітники та студенти зобов'язані знати та строго виконувати правила пожежної безпеки, а у випадку виникнення пожежі застосовувати всі залежні від них заходу щодо порятунку людей, майна та гасінню пожежі.

1. Роботи в лабораторії та інших навчальних приміщеннях повинні проводитися при наявності справного електроустаткування. При виявленні дефектів в ізоляції проводів, несправності пускачів, розеток, вилок, а також заземлення варто негайно повідомити відповідальній особі за протипожежний стан приміщення. Всі несправності електроприладів повинні усувати тільки фахівцем-енергетиком.

2. Забороняється підключати до клем щитів силової лінії прилади освітлювальної мережі, що споживають струм високої напруги.

3. У випадку припинення подачі струму в мережі всі електроприлади повинні бути негайно виключені.

4. У випадку загоряння електропроводів або електроприладів необхідно їх негайно знеструмити та приступитися до гасіння наявними засобами пожежогасіння.

Дії на випадок пожежі

Кожний, що виявив пожежу або загоряння, зобов'язаний:

1. Негайно сповістити про це в пожежну охорону.

2. Приступитися до гасіння вогнища пожежі наявними на робочому місці засобами пожежогасіння.

3. Вжити заходів по організації виклику до місця пожежі адміністрації навчального закладу.

4. Видалити із приміщення або небезпечної зони людей, не зайнятих ліквідацією пожежі.

5. Організувати відключення електроенергії (за винятком систем протипожежного захисту).

Міри безпеки при роботі з електропіччю

1. До роботи з електропіччю допускається тільки спеціально навчений персонал, що знає конструкцію і правила обслуговування печі, принцип дії встановленої на ній електроапаратурі та схему її живлення, а також правила безпеки при експлуатації електроустановок до 1000 В.

2. Перед початком роботи з електропіччю необхідно переконатися в надійності кріплення й приєднання проводів в електричному блоці, а також у правильності підключення до мережі та контору заземлення.

3. При порушенні нормальної роботи електропечі необхідно відключити її від мережі та вжити заходів по усуненню несправностей. Ремонтні роботи тільки після зняття напруги. Температура поверхні передньої стінки та дверцят 100^{O}C, тому слід дотримуватися обережності при роботі з електропіччю.

4.4 Безпека праці при проведені дослідження структури металу

Під час готування та травлення шліфів потрібне дотримання певних правил роботи. Всі операції варто проводити в спеціальному вентильованому приміщенні (шафі). На шліфувальних і полірувальних верстатах дотримувати всі правила безпеки праці, передбачені для роботи з отрутними та шкідливими хімічними речовинами, а також правила пожежної безпеки.

Працювати треба в спецодязі - халаті. Рукава халата повинні бути застебнуті (у запобігання влучення у верстат при обертанні кола). Щоб захистити шкіру рук від шкідливого впливу хімічних речовин і розчинів, а очі від влучення бризів травителя, становити травителі та труїти шліфи треба в тонких гумових рукавичках і захисних окулярах.

Вимоги безпеки під час роботи

При механічному шліфуванні та поліруванні шліф варто міцно тримати в руці, щоб він не вирвався та не наніс ушкоджень. Особливу обережність

треба проявляти, користуючись хімічними речовинами при готуванні реактивів і електролітів.

Більшість електролітів і реактивів, застосовуваних для готування та травлення шліфів, являють собою розчини та суміші різних кислот, солей і лугів. Ці речовини впливають на організм людини. Потрапляючи на шкірні покриви (у вигляді крапель, бризів або струменя) і слизуваті оболонки (у вигляді пар), шкідливі речовини можуть викликати опіки різного ступеня, а також зробити місцева або загальтоксична дія.

Найбільш швидкі та сильні опіки викликає суміш азотної та соляної кислот («царская водка»). Далі по інтенсивності шкідливого впливу кислоти розташовуються в наступному порядку: суміш сульфатної та хромистої кислот (хромова суміш), азотна, сульфатна, плавикова, хромова, соляна, оцтова, молочна, ортофосфорна, щавлева та ін. Гарячі кислоти та суміші можуть викликати обвуглювання уражених ділянок. Сильні опіки можуть бути викликані і концентрові розчини лугів (їдкий натр і їдке розжарюй).

При вдиханні газів, що виділяються при електрополіруванні та травленні шліфів у більших кількостях, можуть відбутися опіки слизуватих оболонок і отруєння організму. Тому при роботі зі шкідливими речовинами необхідно дотримувати спеціальних мір обережності.

При виявленні мікроструктури металу працювати із травителями треба під витяжкою, найкраще на столі витяжної шафи:

- підігрівати реактиви необхідно на піщаній лазні або на плиті із закритою спіраллю;

- при травленні, шліфи потрібно брати пінцетом або тигельними щипцями;

- розчиняти реактиви треба в зазначеному в рецепті порядку, не наближаючи особу до посудини з хімічними розчинами;

- відпрацьовані реактиви перед зливом у каналізацію повинні бути нейтралізовані (кислоти - лугами, а лугу - кислотами);

- після закінчення роботи весь посуд повинна бути ретельно вимита та висушена;

- приготовлені реактиви (травителі) повинні зберігатися в пухирцях із притерной пробкою в добре вентильованому приміщенні.

При травленні макро- і мікрошліфів у випадку влучення на шкірний покрив або слизуваті оболонки кислоти уражене місце необхідно негайно промити рясним струменем води. Влучення на шкірний покрив 3-5% розчину азотної кислоти не представляє небезпеки.

У лабораторії в спеціальній шафці завжди повинні зберігатися засобу надання першої медичної допомоги: розчини соди та марганцевокислого калію, слабкі розчини оцтової та соляної кислот, нашатирний спирт, спиртової розчин йоду.

ВИСНОВКИ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням прокатного відділення показало, що головним «вузьким місцем» цеху є безперервний стан холодної прокатки. Це пояснюється тим, що для одержання штаб менших товщин на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680, для сталей Ст. 1 - 0,4 мм, стали 20 - 0,5 мм і 12Г2А - 0,6 мм приводить до збільшення режимів обтиснень по клітях. Підвищення обтиснень веде до збільшення питомого тиску на валки, що приводить до передчасного виходу з ладу робочих і опорних валків через викрашування поверхні їхніх бочок, крім того, знижується механічна міцність вузлів кліті.
2. На підставі огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що найбільш ефективним способом виробництва тонких штаб з вуглецевої сталі є холодна прокатка на безперервному пятиклітьовом стані.
3. Збільшення числа клітей дає можливість прокочувати більше тонку штабу при одній і тій же початковій товщині, використовувати більше товстий прокат, підвищувати точність і якість поверхні готового прокату за рахунок рівномірного розподілу обтиснень по клітях. А також дозволить підвищити продуктивність, що випускається продукції.
4. Виходячи з аналізу літературних джерел, обрані режими обтиснення в першій кліті трохи нижче, ніж у наступних клітях, а в останній кліті - рівними щодо першої кліті.
5. По оцінках дослідників, використання САРПФ на базі створеної методики регулювання дозволяє підвищити площинність прокатуваних штаб, на 5–10 %, забезпечити її стабільність на 95% довжини штаби завдяки безперервному коректуванню профілю міжвалкового зазору в автоматичному режимі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.

2. Середа Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.

3. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. Запорожье : ЗГИА, 2008. 224 с.

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

5. Середа Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.

6. Середа Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

7. Середа Б.П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.

8. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials.* (Brno, May 20 - 22, 2020). Brno, 2020. P. 440-445.

9. Середа Б.П., Кругляк І.В., Бєлоконь Ю.О., Жеребцов О.А. Розробка номограм оптимізації діаметрів валків на багатовалкових станах холодної прокатки. *Обработка металлов давлением*. 2008. № 1 (19). С. 352.

10. Середа Б.П., Прищип М.Г., Михайлін В.М., Жагров А.С., Бєлоконь Ю.О. Дослідження технологічних мастил за формозміною штаби у процесі холодної прокатки. *Металургія*. 2013. 1. С. 116-120.

11. Бєлоконь Ю.О. Фізичні процеси при пластичній деформації : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 179 с.

12. Ніколаєв В.О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату : підручник для ВНЗ. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 319 с. : іл.

13. Ніколаєв В.О. Обтискне та сортове виробництво прокату : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 129 с.

14. Середа Б.П., Прищип М. Г. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва : метод. вказівки до лабораторного практикуму : для студ. ЗДІА спец. ОМТ ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 42 с.

15. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

16. Середа Б. П., Бєлоконь Ю. О., Оніщенко А. М. Теорія обробки металів тиском : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 129 с.

17. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2002. 374 с.

18. Пахаренко В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням, тиском та зварювання). Лабораторний практикум : навч. посіб. / В. Л. Пахаренко, М. М. Марчук, П. І. Івасюк ; НУВГП. Рівне : НУВГП, 2013. 126 с.

19. Обробка металів тиском при нестаціонарних температурних умовах : монографія / Б.П.Середа, І.В.Кругляк, О.А.Жеребцов, Ю.О.Бєлоконь. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 252 с. ISBN 978-966-8462-15-3.

20. Федьков В.Г. Механічне обладнання металургійних заводів : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 91 с.

21. Середа Б. П., Кругляк І. В., Бєлоконь Ю.О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 166 с.

22. Польський О., Бєлоконь Ю.О. Автоматизоване проектування режиму деформації штаб на станах холодної прокатки. *Молода наука – 2020 : збірник наукових праць XIII університетської науково-практичної*

конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. (Запоріжжя, 13-15 квітня 2020 р.). Запоріжжя: ЗНУ, 2020. Т. 5. С. 124-125.

23. Явтушенко О.В., Проценко В.М., Бондаренко Ю.В. Розрахунок нормальних контактних напружень в осередку деформації під час прокатування штаб. *Металургія : зб. наук. праць.* 2019. № 1. С. 85-92.

24. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Bondarenko Y.V., Kirichenko A.G., Ping. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation center when rolling a metal strip. *Journal of Engineering Sciences*. 2019. Т. 6. № 2. С. 31-35.

25. Кокорін Я., Бондаренко Ю.В. Підвищення показників якості прокату при виробництві жерсті. *Молода наука – 2020 : збірник наукових праць XIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених.* (Запоріжжя, 13-15 квітня 2020 р.). Запоріжжя: ЗНУ, 2020. Т. 5. С.113.

26. Кругляк Д. О., Поляков А. Ю. Вдосконалення режиму холодної прокатки низьковуглецевих сталей. *І Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України»*. Запоріжжя: ЗНУ, 2021. С. 231-233.

27. Вербицький М.В., Бондаренко Ю.В. Оцінка ступеню використання ресурсу пластичності за холодної прокатки штаб. *Матеріали XXII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА*, 2017, ЗДІА, Т.1. С. 54.

28. Захарченко С.О., Бондаренко Ю.В. Аналіз моделей роз-рахунку коефіцієнтів тертя за холодної прокатки штаб. *Матеріали XXII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА*, 2017, ЗДІА, Т.1. С. 51.