

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повна найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)

на тему Аналіз технологічних особливостей прокатки штаб на
реверсному стані 1680

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омг

Гальченко Артур Олександрович
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
136 Металургія
(цифра) (назва)

спеціалізація

(цифра) (назва)

освітньо-професійна програма
обробка металів тиском
(цифра) (назва)

Керівник к.т.н. доц. Бондаренко Ю.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень

Спеціальність 136.металургія

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

" 07 " 05 2023 року

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

Гальченко Артур Олександрович

1. Тема проекту (роботи) Аналіз технологічних особливостей прокатки штаб на реверсивному стані 1680

керівник роботи (проекту) Бондаренко Юлія Володимирівна к.т.н, доцент

затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" 05 2023 року № 632с від 01.05.2023

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекту) аналіз технологічних особливостей прокатки штаб на реверсивному стані 1680 в умовах ПАТ "Запоріжсталь". Матеріал дослідження: Сталь 08кп. Хімічний склад мазоуглецевої сталі 08кп (ДСТ 19904 - 90): C-(0,05÷0,11)%, Si-0,03%, Mn-(0,25÷0,5)%, Cr- 0,1%

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Експериментальна та розрахункова частина, Обладнання та термічна обробка при прокатуванні, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових зреслень)
Креслення, презентаційний матеріал 13 слайдів (на 13 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1 Аналітично- пошукова частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Розділ 2 Експериментальна та розрахункова частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Розділ 3 <u>Обладнання та термічна обробка при прокатуванні</u></i>	<i>Бондаренко Ю.В. доцент</i>	
<i>Розділ 4 <u>Охорона праці та техногенна безпека</u></i>	<i>Бондаренко Ю.В. доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белокоць Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Цілі
1	<i>Вступ</i>	<i>до 30.11.2023</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>до 30.11.2023</i>	
3	<i>Аналітично-пошукова частина</i>	<i>до 30.06.2023</i>	
4	<i>Експериментальна та розрахункова частина</i>	<i>до 19.11.2023</i>	
5	<i>Обладнання та термічна обробка при прокатуванні</i>	<i>до 26.11.2023</i>	
6	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>до 30.11.2023</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>до 30.11.2023</i>	

Студент _____

(підпис)

А.О. Савченко

(підписав за місцем)

Керівник проекту (роботи) _____

(підпис)

Ю.В. Бондаренко

(підписав за місцем)

Реферат

Кваліфікаційної робота магістра: 81 стр., 18 рисунків, 5 таблиць 21 джерел посилань.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, РЕВЕРСИВНИЙ СТАН 1680, ПІДКАТ, ОБТИСК, ВАЛКИ, ШТАБА, ПРОФІЛЮВАННЯ, ШВИДКІСТЬ ПРОКАТКИ, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, КУТ ЗАХОПЛЕННЯ, МОТАЛКА.

Об'єкт дослідження: реверсивний стан 1680 ЦХП-1 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи: розробка режиму прокатки штаб розмірами 0,5x1000 мм в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

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

У даній роботі проводиться розробка прокатки холоднокатаної штаби з низьковуглецевої сталі 08кп із гарячекатаної штаби.

В роботі проводиться розрахунок режимів обтисків, розрахунок силових параметрів прокатки, розрахунок крутячих моментів прокатки. Так, максимальна сила прокатки склала – 15,48 МН, момент прокатки – 0,136 МН·м, потужність прокатки – 1534 кВт, що не перевищує допустимих показників.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Загальна характеристика цеху.....	9
1.2 Технологія виробництва тонколистової сталі.....	11
1.3 Технологічний процес прокатки на реверсивному стані 1680.....	20
1.4 Технологічна характеристика основного устаткування реверсивного стану холодної прокатки 1680.....	26
1.5 Заходи щодо реконструкції.....	33
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ТА РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	37
2.1 Аналіз технології прокатки передніх і задніх кінців штаби на безперервному 4-х клітьовому стані 1 680 ЦХП-1.....	37
2.2 Визначення товщини вихідного підкату.....	44
2.3 Вибір схеми прокатки.....	45
3 ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРИ ПРОКАТУВАННІ.....	56
3.1 Розрахунок робочих і опорних валків на міцність.....	56
3.2 Характеристика термічних печей.....	63
3.3 Режимми відпалу.....	66
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	71
4.1 Загальні відомості щодо безпеки на металургійному підприємстві.....	71
4.2. Запобігання пожежам та вибухам.....	72
4.3 Засоби індивідуального захисту.....	76
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	80

ВСТУП

У сучасному прокатному виробництві підвищені вимоги пред'являються до одержання продукції з необхідними властивостями, забезпечення компактності, універсальності, економічності, ремонтпридатності та енергоємності обладнання.

Поряд із підвищенням вимог до розмірної точності прокату та якості його обробки велика увага приділяється виробничій гнучкості обладнання, можливості оперативного переналаштування на інший сортамент, скорочення простоїв, пов'язаних з ремонтом та обслуговуванням.

Існує тенденція лиття заготовок з формою і розмірами, наближеними до параметрів готової продукції, що вносить суттєві зміни в процес прокатки: зменшується кількість необхідних проходів і прокатних клітей з відповідним спрощенням конструкції, зменшенням габаритів і питомих витрат енергоносіїв, проте зменшення коефіцієнта витяжки структурі одержуваного прокату і зумовлює необхідність широкого застосування термічної обробки.

Тенденції сучасного ринку металопродукції проявляються у зменшенні спектра розмірів готового прокату та у більшому розмаїтті марок сталі. У будь-якому випадку для отримання найбільшої продуктивності необхідно забезпечити мінімальну тривалість процесу переналагодження під час переходу на прокатку іншого типорозміру, профілю або марки сталі, а також скоротити тривалість простоїв, пов'язаних з обслуговуванням обладнання.

Основними видами продукції є будівельна арматура, катанка, дріт, куточки, шестигранники тощо.

Стани для розкочування штаб з чорних і кольорових металів методом холодної прокатки є обладнанням для прокатки матеріалу в холодному вигляді методом холодної деформації. Це означає, що перед прокаткою вихідний матеріал не нагрівається в печі.

До цього методу прокатки звертаються з метою отримання тонкої штаби або стрічки з мінімальними значеннями по товщині, з рівною блискучою площиною, прецизійними розмірами перерізу і високою гомогенністю властивостей матеріалу. Під час прокатки холодним способом є можливість зміни механічних властивостей металу, що обробляється, вибираючи необхідні параметри обтискань і температурних впливів. Прокатка матеріалів у холодному стані методом холодної деформації поширена, а холоднокатана продукція знаходить сьогодні широке застосування майже у всіх сферах нашої промисловості.

При отриманні готового продукту іноді використовують повністю отримані при холодній прокатці властивості як прецизійність розмірів штаби товщиною до макс. 0,002 мм, покращену під час прокатки міцність. Іноді при наклепі товстих штаб прагнуть отримання поліпшених механічних властивостей отриманої при прокатці штаби. Сучасні розробки станів холодної прокатки сьогодні набагато досконаліші, що стосується швидкості прокатки або підвищення здатності переносити осьове або радіальне навантаження у підшипників різного роду опорних і робочих валків, а також термін їхньої служби. Також з'явилися нові системи вимірювання та регулювання натягу штаб, що прокочуються, створюваного між клітями, автоматичне регулювання товщини штаби і виключення різнотовщинності.

Вищеназвані розробки можна частково реалізувати на вже працюючих агрегатах холодної прокатки, внаслідок чого буде збільшено продуктивність вузлів стану, що вже працюють, без особливих фінансових витрат.

Поняття «стрічка» має зв'язок із товщиною штаби, бо до певного моменту були складності з прокаткою широкої штаби товщиною $\leq 0,2$ мм, у зв'язку з цим рулони, які потрібно було прокатати в штабу товщиною $\leq 0,2$ мм, потрібно було перед прокатуванням піддати

розпуску, тобто. поздовжньому поділу на кілька штаб. Після чого поздовжньо розрізані штаби прокочувалися на станах із валками меншого діаметра та меншої бочки.

Сьогодні при існуванні багатовалкових прокатних ліній, де кількість валків може сягати 20, у поздовжньому розпуску рулону немає сенсу, тому що на багатовалковому агрегаті є можливість прокатки тонших і ширших штаб. Потрібно думати, що в найближчому майбутньому прокатці підлягатимуть штаби шириною мін. 1000 мм та товщиною 0,05 мм. І тільки після цього штаба піде на розпуск, де подовжньо буде ділитися на смужки потрібної ширини. Проте зовсім тонкі штаби, спеціальні сплави та матеріали підлягатимуть прокатці на вузькоштабових станах. Тому робота, що направлення на аналіз металургійної продукції, що отримана на реверсивному стані є актуальною.

1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика цеху

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

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

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

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

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

Травильне відділення призначене для зняття окалини.

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

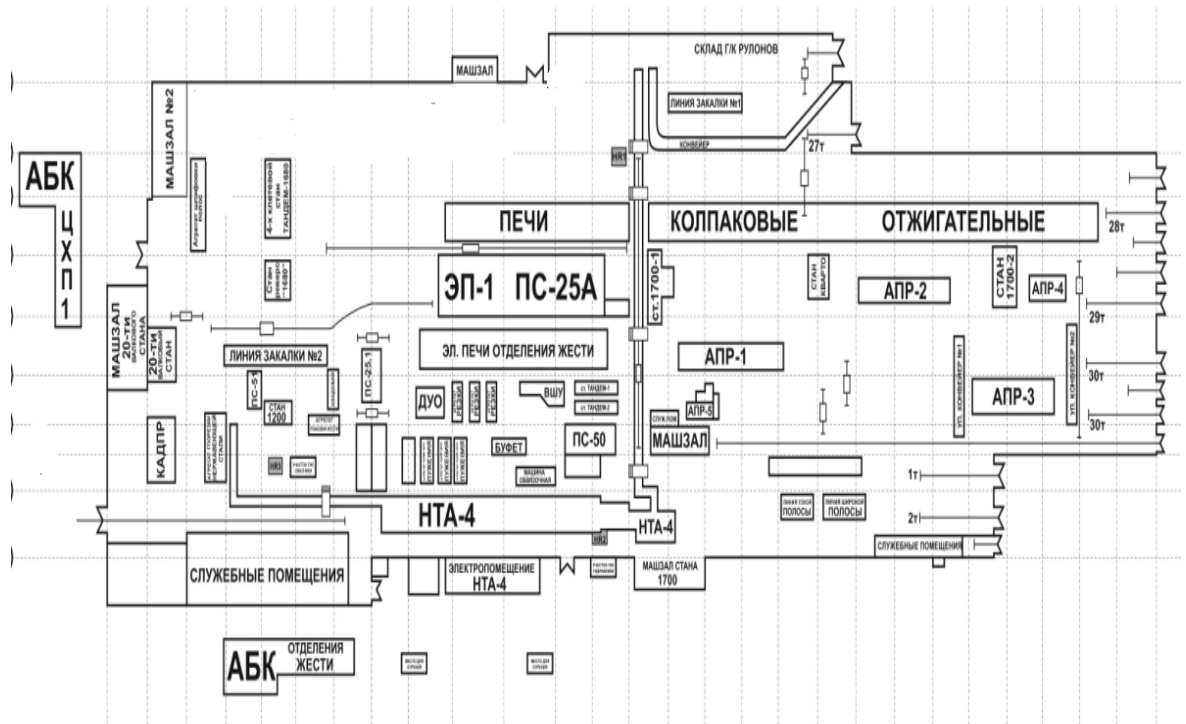


Рисунок 1.1 – План ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Неперервний чотирьохкільтвий стан 1680 складається з 4-х послідовно розташованих клітей кварто, що мають у своєму складі два опорних і два робочих валка, а також допоміжного устаткування: провідного прийомного пристрою, поворотного столу, розмотувача, моталки барабанного типу та ін. Реверсивний стан 1680 складається з кліти кварто й обслуговуючого її устаткування: конвеєра, що підводить, перекидача, розмотувача, моталки. Реверсивний стан 1200 складається з 4-х валкової кліти й обслуговуючого її устаткування, розмотувача, правильно-тягнутої машини, плоского проводкового столу, двох моталок.

Цех по виробництву нержавіючого листа оснащений комплексом агрегатів для виробництва холоднокатаного нержавіючого листа товщиною 0,8-2,0мм, що включає в себе неперервні гартівні агрегати № 1 і № 2, неперервний травильний агрегат № 3, агрегат шліфування гарячекатаних штаб; 20-валковий стан, агрегат дресирування, виправлення, різання.

У термічному відділенні проводиться відпал холоднокатаних рулонів в одностопних ковпакових печах, у захисній атмосфері.

Максимальна вага садки – 52 т (3-5 рулону). У відділення встановлено 249 стендів, які згруповані у 16 блоків. Блоки мають автономну систему подачі природного і захисного газів, повітря, електроенергії, води. Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для створення конвекції захисного газу під муфелем. Також печі обладнані контрольно-вимірною апаратурою, що забезпечує задані режими відпалу. У лютому 2006 року введені в експлуатацію 18 нових термічних печей фірми «Ебнер», у яких виробляється відпал листового прокату для додання йому більш високих якісних характеристик. Нові печі дозволяють приступити до випуску автолиста. У цих печах відпал прокату здійснюється в середовищі сухого водню, що забезпечує такі механічні властивості, як висока чистота поверхні, пластичність і висока корозійна стійкість. У цілому за рік у нових печах фірми "Ебнер" буде відпалюватися до 300 тисяч тонн прокату.

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

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

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

1.2 Технологія виробництва тонколистової сталі [1,3]

Усі технологічні переділи виробництва холоднокатаних листів з вуглецевих сталей істотно впливають на якість і властивості готової продукції. Так, при виплавці сталі повинні строго дотримувати хімічний

склад. Розливання повинне здійснюватися так, щоб виключити утворення поверхневих дефектів на злитку, неметалічних включень усередині злитка і, отже, властивостей по всьому обсязі злитка. Тому в даний час розливання сталі, призначеної для виробництва листа, часто здійснюється безупинним способом на машинах безупинного розливання. Поряд з вирівнюванням властивостей досягається велика продуктивність, більш високий ступінь автоматизації, зниження видаткового коефіцієнта.

Структура, механічні властивості і геометрія листової сталі значною мірою закладаються при гарячій прокатці на неперервному широкоштабовому стані відповідним підбором деформаційних і температурно-швидкісних умов. Сучасні неперервні широкоштабові стани забезпечують можливість гарячої прокатки з прискоренням, що дозволяє стабілізувати температуру обробки і значною мірою структуру і властивості по довжині розкату.

Технологія цеху холодної прокатки надзвичайно різноманітна і складна. Вона включає наступні найважливіші технологічні операції: травлення, прокатку, відпал, дресирування, нанесення покриттів, різання й упакування.

Для видалення окалини з поверхні штаб використовують лінію соляно-кислотного травлення НТА № 4, яка була побудована у 2014 році. Схема НТА-4 представлена на рис. 1.2.

Травленню на НТА-4 підлягає гарячекатані рулоні що надійшли з ЦГПТЛ наступних розмірів 1,0-6,0x850-1500 мм з вуглецевих сталей типу 0,8-20кп(пс),Ст5пс,08Ю,45,55 та інші.

Перелік технологічних операцій на НТА-4 [2]:

1. Основні операції: правка і механічна очистка штаби від окалини, травлення штаби в соляно-кислотних розчинах, змив розчинів та сушіння штаби.

2. Допоміжні операції: вимірювання діаметру рулону та горизонтальне вирівнювання його перед травленням, вирізання передніх та задніх

некондиційних кінців рулону, обрізання кромки протравленої штаби, вирізання частини зварки кінців штаби, маркування протравленої штаби, зважування протравлених рулонів.

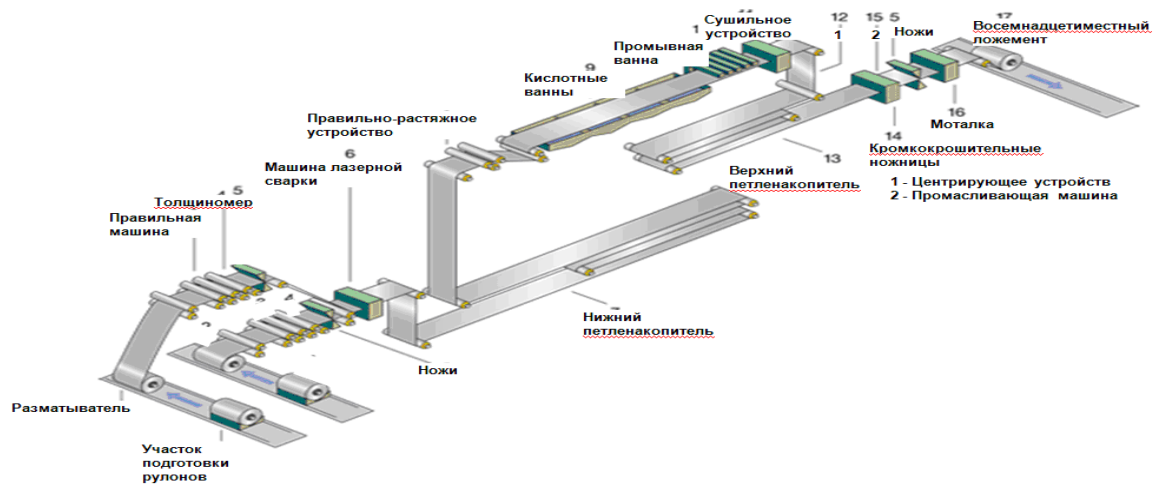
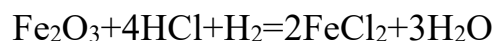
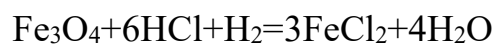
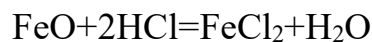


Рисунок 1.2 – Схема технологічної лінії НТА-4

Видалення окалини з штаби проводиться хімічно в режимі високо турбулентного травлення, розпилюванням кислоти на поверхні штаби травильного розчину та видалення її рештків. Шар окалини на штабі розчиняється згідно з нижче зазначених хімічних реакціями:



Травлення проходить у 4-х пласких ваннах по каскадному принципу у чотирьох ступенях, працюючих у режимі протитечії.

Рулони зі складу гарячекатаних рулонів за допомогою електромостового крану подаються на стаціонарні приймальні пристрої крокуючої балки НТА-4. За допомогою пересувного столу що вмонтований в крокуючу балку здійснюється вирівнювання рулонів у кантувачі. На кантувачі рулони переводяться з вертикального у горизонтальне положення. З кантувача рулони у горизонтальному положенні переміщуються підйомно-пересувним

візком для рулонів №1 до станції приводних (мульдових) роликів і далі на ділянку укладання №1.

З ділянки укладання рулонів №1 рулони транспортуються на ділянку укладання №2. Усі позиції укладання рулонів контролюються фотоелементами. З ділянки укладання рулонів №2 рулони подаються на візки за допомогою підйомно-поворотного візка №2. Потім рулони пересуваються на ділянку розмотування рулонів, після чого транспортуються до розмотувача №1 або №2. На барабан розмотувача №1 та №2 одягається рулон, а потім за допомогою гідроциліндра барабан розжимається. Розмотувачі №1 та №2 працюють по чергово: доки один рулон розмотується на другий розмотувач задається наступний рулон. Обертанням верхньоприводного ролика штаба подається до блоків роликів що тягнуть, і до правильної машини №1 або №2. Правильна машина служить для правки переднього та заднього кінців рулону. Після правильних машин штаба проходить повз центруючий пристрій, та подається до вхідних ножиців для обрізання передніх та задніх кінців з подальшою подачею штаби до лазерної зварювальної машини (ЛЗМ). Після проходження ЛЗМ штаба центрується та подається до вхідного накопичувача. Потім штаба потрапляє до правильно-розтяжної машини (окалиноломач), а потім до травильних ванн для хімічного видалення окалини, з подальшим сушінням штаби у сушарці при температурі 120⁰С та накопиченням штаби у верхньому накопичувачі. Після верхнього накопичувача штаба потрапляє на вихідну ділянку де відбувається обрізка кромки, контроль якості поверхні протравленої штаби, її маркування, вирубка зварювального шву та зняття рулону з моталки. Перед змотуванням штаби в рулони вона промаслюється індустриальним маслом I-20A, або ANTICOR ST.

Технологія холодної прокатки припускає вибір сумарного ступеня холодної прокатки, що визначає структуру і властивості штаби після прокатки (розподіл міжклітьових натягів, сумарного обтиску і профілювань валків по клітям, швидкості прокатки), що визначає якість штаби по

геометрії, стійкості процесу прокатки і продуктивність стану, а також указівка послідовності операцій, необхідних для відповідної режиму прокатки настроювання устаткування і проводки штаби через стан.

Режими прокатки задаються оператором УВМ, що розраховує відповідну настроювання стану. Розрахунок здійснюється завчасно до входу штаби в стан. Оператор має можливість скорегувати режим.

Сталі IV-V груп мають великий вміст вуглецю і більш висока границя текучості. Щоб уникнути перевантаження устаткування й обривши штаби вони прокатується на знижених швидкостях. При прокатці штаб зі сталей IV групи швидкість знижується на 15%, а в сталей групи V - на 25%.

Для зменшення коефіцієнта тертя при прокатці й у результаті зменшення зусилля прокатки на штабу подається змащення. Для цього застосовують різні органічні жири, мінеральні олії й органічні сполуки, наприклад емульсію, виготовлену на емульсорі, пальмова олія та ін. При прокатці жерсті як змащення застосовують пальмове, кокосове та інші олії, що використовують у суміші з водою.

На станах холодної прокатки системи змащення працюють по замкнутому циклі. Після використання залишки емульсії направляють у збірники для повторного використання. На стан емульсію подають насосними установками, для очищення емульсії маються фільтри і магнітні сепаратори, для охолодження емульсії використовують охолоджувачі.

Холодну прокатку листової сталі на неперервних станах, проводять зі значними міжклітьовими натягами, що поліпшують умови прокатки, унаслідок чого можлива прокатка з великими обтисками. Натяг на станах створюють моталки, контроль натягу здійснюють пристроями, установленими між клітьями стану [4-6].

Поряд з достатньою міцністю валки зазначених станів повинні мати високу твердість, яка б забезпечила одержання листової сталі з чистою і гладкою поверхнею. Валки для виробництва холоднокатаних листів і жерсті часто перешліфовують. Практично допускається зменшення діаметра валків

станів холодної прокатки на 3-5%. Робочі валки виходять з ладу внаслідок природного зносу загартованого шару - викрашування його, наварів, порізів, надавав і іноді через поломки. Для поліпшення умов захоплення в першій клітці і запобігання зварювання витків рулону при відпалі робочі валки клітей неперервного стану насікають чавунним чи сталевим дробом. Точність прокатки холоднокатаних листів, як і гарячекатаних, оцінюють подовжньої і поперечної різновтовщиністю. На точність розмірів холоднокатаних листів впливають твердість клітці, стабільність розмірів і профіль прокату, робота системи автоматичного регулювання товщини штаби й ін.

Після холодної прокатки внаслідок наклепу вуглецева сталь стає твердою і має знижену пластичність. Для усунення наклепу й одержання структури, що забезпечує необхідні механічні і технологічні властивості, холоднокатану сталь піддають відпалу. Після відпалу її піддають дресируванню, у результаті якої помітно поліпшується поверхня листової сталі. Якість поверхні дресирувальних листів залежить від вихідного стану поверхні, якості шліфування і насічки поверхні робочих валків. Наступними операціями обробки тонколистовий вуглецевої сталі є поперечне і подовжнє різання рулонів.

Основним видом термічної обробки вуглецевої сталі, у цехах холодної прокатки є відпал. Незначну по об'єму виробництва частина металу піддають чи нормалізації поставляють у нагартваному стані.

При холодній прокатці сталі відбувається деформація зерен у напрямку прокатки і перекручування кристалічних ґрат, у результаті чого виникає наклеп, міцність металу підвищується, а пластичність його знижується. Для усунення наклепу, підвищення пластичності і забезпечення необхідних механічних властивостей холоднокатаний метал піддають рекристалізаційному відпалу при 630-690°C [7-10].

До рекристалізаційного відпалу прибігають і в тих випадках, коли через високий ступінь нагартування холодна прокатка ускладнена недостатньою потужністю устаткування. Режим термічної обробки повинний забезпечувати

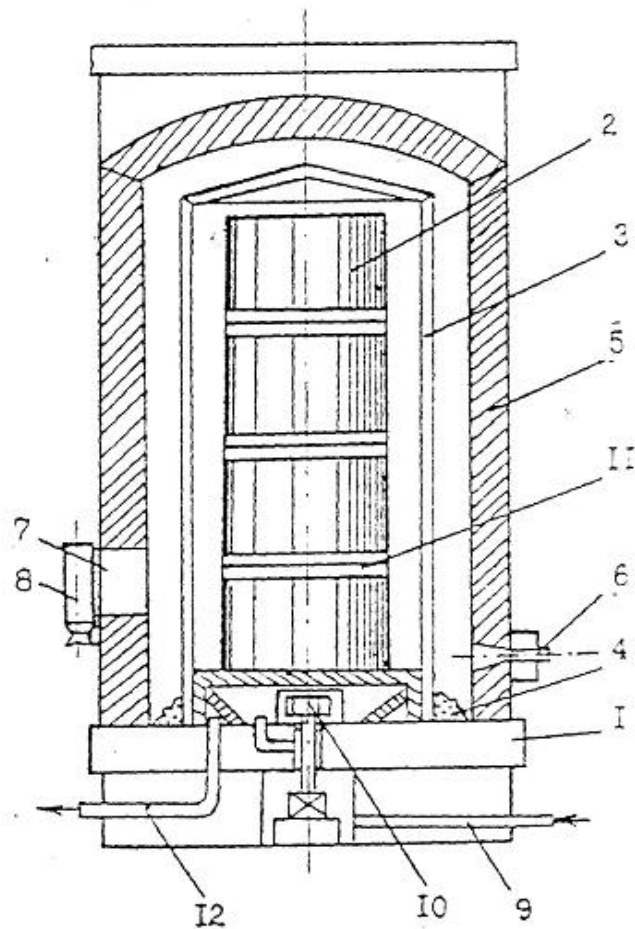
задані властивості сталі, охороняти поверхня металу від окислювання й зневуглицювання поверхні. Витки рулонів і листи стіп не повинні сліпатися. У залежності від режимів термічної обробки і призначення холоднокатаної листової сталі застосовується різне термічне устаткування.

Рекристалізаційний відпал є однією з основних технологічних операцій, що визначають якість готового холоднокатаного листа. Конструкційний лист і автолист відпалюють у ковпакових печах, жерсть - у ковпакових і баштових печах (рис. 1.3). Газові ковпакові печі характеризуються невисокими вартостями й енергетичними витратами при досить великій продуктивності і зручному обслуговуванні.

Відповідно до розмірів рулонів у даний час визначалися чотири основні конструкції одностопних печей діаметром до 1,6; 1,8; 2,2 і 2,7м. Висота стопи рулонів конструкційного листа складає 4,7-5м, жерсті 3,8-4м; маса садки 40-180т. Печі опалюються природним чи газом сумішшю коксового і доменного газів.

Для підвищення виходу листів складної витяжки й одночасно для зменшення злипання витків рулонів і поліпшення чистоти поверхні металу використовують двоступінчастий відпал холоднокатаних рулонів в одностопних ковпакових печах із проміжною й остаточною витримками при температурах відповідно 600 і 690°C.

Впровадження цього режиму відпалу для сталі 08Ю дозволило підвищити до 98% вихід придатних листів особливо складної витяжки. При попереднім нагріванні з проміжною витримкою в 1,5 рази скорочується тривалість остаточної витримки і зменшується імовірність злипання витків. Значно поліпшується при цьому мікроструктура і механічні властивості відпаленого металу, знижується кількість листів, забракованих по дефекті злам.



1 - стэнд; 2 - стопа рулонів; 3 - муфель; 4 - пісковий затвор; 5 - переносної нагрівальний ковпак; 6 – інжекційний пальник; 7 - димове вікно; 8 - ежектор; 9 - труба для подачі захисного газу; 10 - вентилятор; 11 - конвекторна прокладка; 12 - труба для виходу захисного газу

Рисунок 1.3 – Схема одностопної ковпакової печі для відпалу рулонів:

Широко застосовують, баштові печі для виробництва холоднокатаної трансформаторної сталі. Ці печі входять до складу неперервних агрегатів і призначені для знеуглецювання і рекристалізаційного відпалу холоднокатаної штаби. Нагрівання й охолодження штаби (уповільнене і прискорене) роблять в атмосфері сухого азотного газу (95% N₂ і 5% H₂).

У печах для відпалу розпушених рулонів забезпечується найбільш гнучке регулювання швидкості нагрівання в потрібних інтервалах температур з різною витримкою. Такі печі повинні мати регульовану

циркулюючу захисну атмосферу й автоматичне програмування швидкостей при східчастому нагріванні, витримці й охолодженні. Печі для відпалу розпушених рулонів придатні для обробки електротехнічних сталей з текстурою різних типів. Останнім часом широке застосування для відпалу штаби одержали протяжливі печі безупинної дії, у яких процес обробки сталі можна механізувати й автоматизувати [11].

Неперервні лінії відпалу штаби мають цілий ряд переваг: високу продуктивність (швидкість руху стрічки в сучасних печах досягає 10м/с, а годинна продуктивність 13-50 т/ч); можливість сполучення в одному неперервному агрегаті операцій знежирення, відпалу і контролю якості металу, а при відпалі трансформаторної сталі і нанесення на поверхню штаби захисного покриття, що охороняє витки чи рулону листів стопи від злипання при високотемпературному відпалі; низьку вартість відпалу; можливість одержання металу зі стабільними властивостями, однорідною структурою і рівномірною твердістю завдяки стабільному тепловому режиму роботи печі; виключення причин злипання окремих витків рулону в процесі відпалу; усунення причин зминання крайки штаби; зменшення виробничих площ у порівнянні з відпалом у ковпакових печах (при тій же обсязі виробництва).

Після відпалу й охолодження до $t < 40^{\circ}\text{C}$ рулони передають на дресирувальний стан, що складається з однієї кліті. Дресирування - це прокатка штаби з невеликим обтиском (0,8 - 1,2%). Стан містить у собі чотирьохвалкову кліть, розмотувач, натяжний пристрій штаби, моталку, пристрій для гідрорегулювання прогину робочих валків і прилади контролю величини обтиску. Дресирування проводять за один прохід при швидкості 10-12 м/с з метою підвищення пластичних властивостей металу і додання поверхні штаби визначеної шорсткості. При прокатці з обтиском 0,8 - 1,2% відбувається зміцнення поверхні шаруючи штаби й усунення площадки плинності на кривій напруга-деформація, що запобігає утворенню ліній зрушення в процесі штампування з листа виробу. Після дресирування з часом відбувається старіння металу, у результаті старіння протягом 4 годин при

100°C (один рік природного старіння) у сталі 08кп (пс) границя текучості зростає з 200 Н/мм² до 245 Н/мм² твердість HRB з 43 до 46,5, а відносне подовження знижується з 50 до 49, а при штампуванні з'являються на поверхні виробу лінії зрушення. Механічні властивості нестаріючої сталі 08Ю в результаті старіння практично не змінюються.

Дресировання здійснюють у робочих валках з насіченою поверхнею й одержують штаби із шорсткістю Ra = 1,5-1,8 мкм. Такі листи володіють великими витяжними властивостями при штампуванні, чим листи з гладкою поверхнею. При штампуванні виробів з листів із шорсткуватою поверхнею змащення входить у западини шорсткості, тим самим знижуючи зовнішню тертя і поліпшуючи умови штампуємісті. Крім того, наявність шорсткості на листі забезпечує краще схоплювання покриття з поверхнею виробу.

1.3 Технологічний процес прокатки на реверсивному стані 1680

Подача рулонів до стану

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

Категорично забороняється проштовхувати рулони по конвеєрі ударами кранової чи скоби рулоном, що знаходиться на скобі, щоб уникнути ушкодження крайок і поверхні рулонів [12,13].

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

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

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

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

Настроювання стану

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

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

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

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

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

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

Контроль за правильною установкою валків у кліті в процесі прокатки здійснюється по напрямку переднього обтиснутого кінця штаби на виході його з кліті. Напрямок переднього кінця штаби після виходу його з кліті строго по осі прокатки свідчить про відсутність перекоосу валків [14,15].

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

Прокатка на стані

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

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

Передній кінець штаби пропускається через підняту прес-проводку і задається в розведені валки. Після виходу переднього кінця штаби з валків на

100-150 мм валки встановлюються за допомогою натискних гвинтів на необхідний обтиск, верхній стіл прес-проводки опускається, і штаба на заправній швидкості подається до моталки.

Передній кінець штаби заводиться в зів барабану моталки, встановлюється необхідний передній натяг і починається прокатка штаби на заправній швидкості. У цей час оператор головної посади керування заводить на штабу ізотопний товщиномір, і за показниками товщиноміру набудовує стан на необхідну товщину. Потім переводить стан на робочу швидкість і під час всього пропуску стежить за товщиною штаби, вносячи відповідну коректування в розчин валків.

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

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

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

Після захоплення заднього кінця штаби правою моталкою і створення натягу старший вальцювальник вимірює товщину штаби ручним мікрометром і набудовує стан на необхідну товщину. Для виміру товщини штаби ручним мікрометром стан зупиняється, набудовується на задану товщину, потім працює на мінімальній швидкості; після коректування

товщини по ізотопному товщиноміру переводиться на робочу швидкість, на якій працює до моменту, поки на моталці, що розмотує, залишається 10-15 витків. Потім стан переводиться на мінімальну швидкість, на якій проводиться прокатка до максимально можливого розмотування рулону (на барабані моталки залишається 1,5 витка), після чого стан і моталка реверсують і прокатка ведеться в зворотному напрямку (на моталці, що розмотує, також залишається 1,5 витка).

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

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

Після прокатки на остаточної товщині стан зупиняється, зів барабана моталки перед станом відкривається, звільняється задній кінець штаби, валки розводяться на таку величину, щоб задній необтиснений кінець штаби вільно, без обтиску, пройшов через валки.

Дефекти при прокатці

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

Однак у процесі холодної прокатки з'являються нові дефекти:

- «коробчатість» виникає внаслідок надмірно великої опуклості валків за їхнього перегріву, а також недостатнього обтиснення в останньому пропуску;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.4 Технологічна характеристика основного устаткування реверсивного стану холодної прокатки 1680

До складу реверсивного стану холодної прокатки 1680 входить кліть "кварто" і обслуговуюче її устаткування: роликовий похилий конвеєр, що підводить, поворотний стіл, скидач рулонів, розмотувач, роликова прес-проводка, дві моталки барабанного типу і знімач рулонів.

Робочі валки приводяться в рух від електродвигуна, характеристика якого приведена в таблиці № 1.1. Привод виробляється через комбінований із шестеренної кліттю редуктор з передаточним числом 3,21, універсальне шпindelне з'єднання.

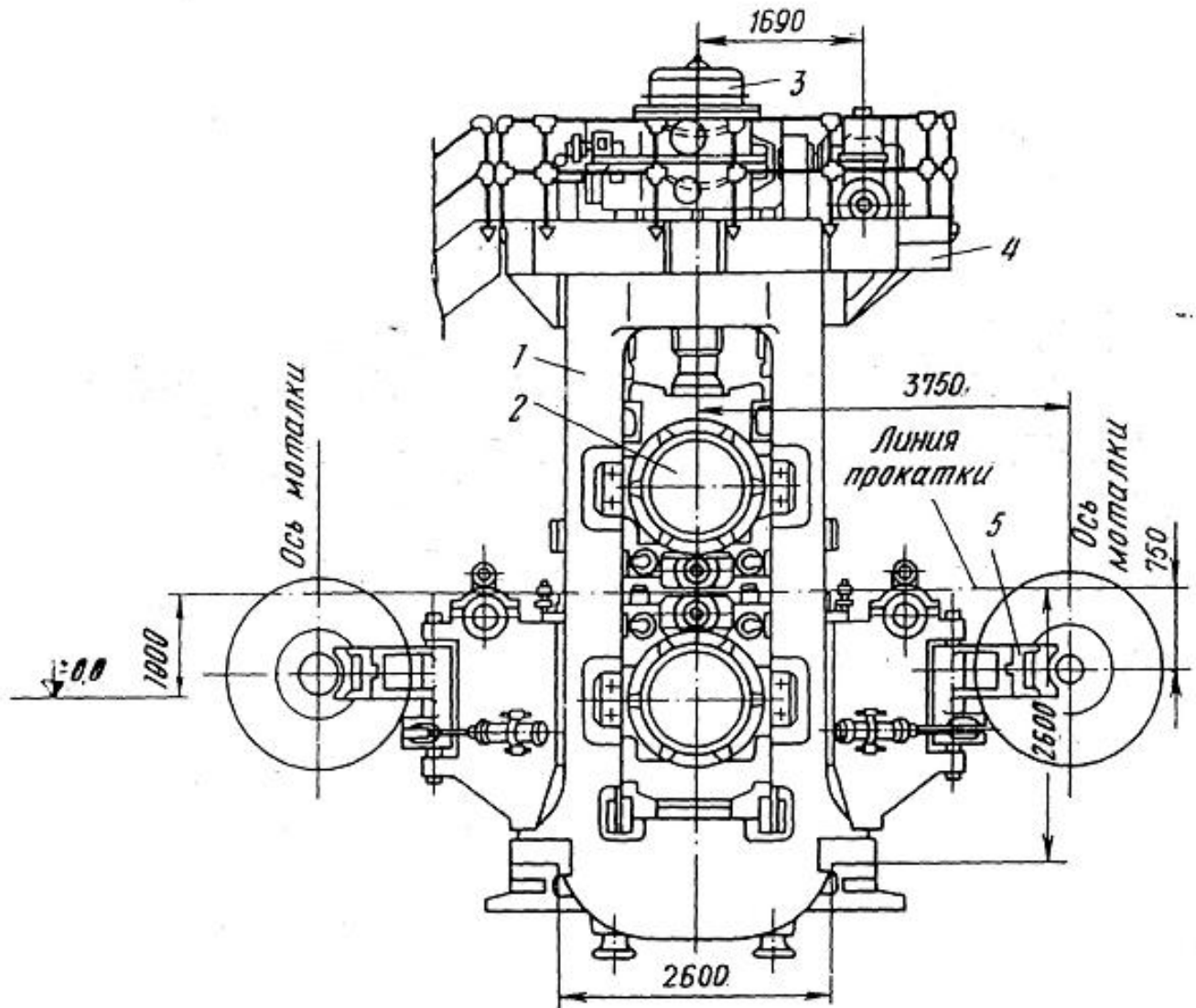
Швидкість прокатки на стані холодної прокатки 1680: заправна - до 0,5 м/с, мінімальна робоча - до 4,74 м/с.

Робоча кліть

Основною несущою частиною робочої кліті реверсивного стану холодної прокатки 1680 є станина, що являє собою дві масивні плити, прикріплені до фундаменту анкерними болтами. У станинах змонтовані подушки з підшипниками і валками, а також пристрій для переміщення верхнього валка по висоті і його фіксації, що направляють прес - проводки (рис. 1.4) [16].

Таблиця 1.1 – Характеристика електродвигуна приводу робочих валків

Потужність, кВт	Обороти двигуна, об/хв	Номінальне навантаження, А
1650	300/600	3000



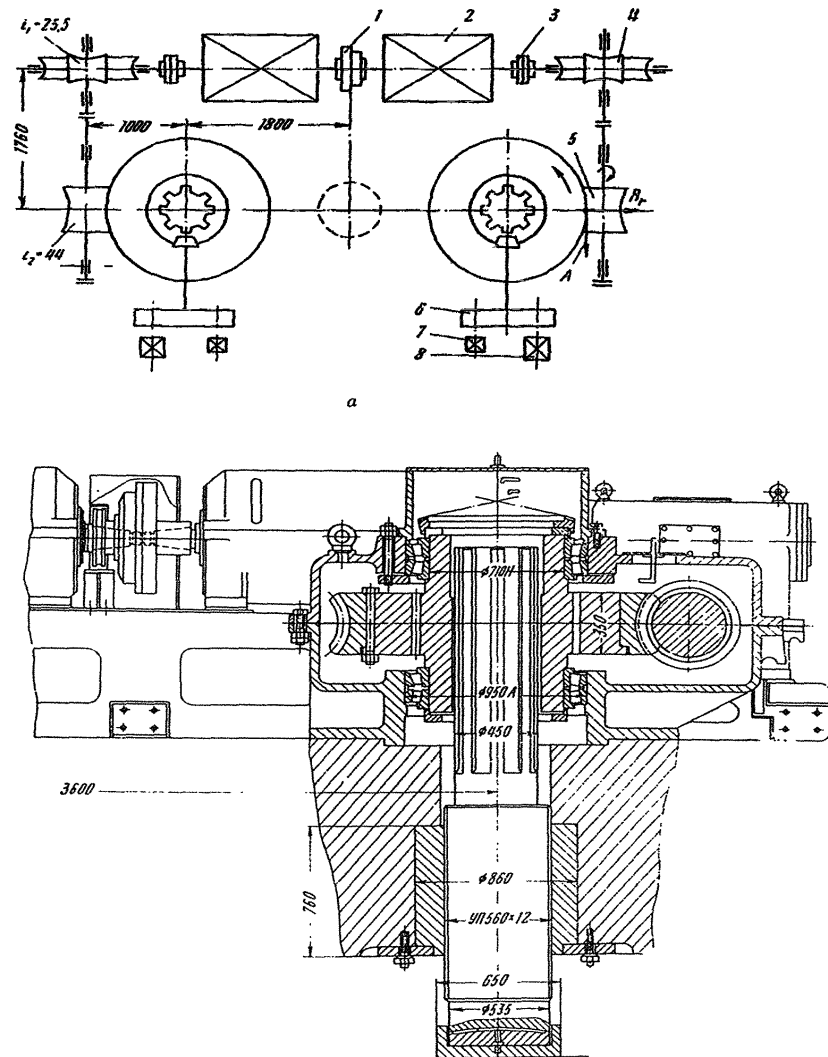
1 - вузол станини; 2 - валки з подушками; 3 - натискний механізм; 4 - площадка й огороження; 5 - поворотна опора барабана моталки.

Рисунок 1.4 – Схема робочої кліті реверсивного стану 1680, конструкції УЗТМ.

Механізм натискних гвинтів

Механізм натискних гвинтів кліті приводиться в рух від двох електродвигунів потужністю 45 кВт, 775 об/хв, через два редуктори з передаточним числом 1100:1. Швидкість переміщення натискних гвинтів - 9,96 мм/хв. Електродвигуни натискного пристрою з'єднані електромагнітною

муфтою для забезпечення спільної і роздільної роботи натискних гвинтів (рис. 1.5).



1 - електромагнітна муфта; 2 - електродвигун; 3 - зубцювата муфта; 4 - глобоїдний редуктор ($i=25.5$); 5 - глобоїдний редуктор ($i=44$); 6 - сельсін и командо-апарат; 7 – командо-апарат КА4658 ($i=30$); 8 - сельсін БД – 501

Рисунок 1.5 – Тихохідний натискний механізм чотирьохвалкового стану холодної прокатки

Прокатні валки

Робочі валки - цільноковані загартованою поверхнею бочки, опорні - з насадними бандажами.

Матеріал валків: робочих - сталь 9Х2МФ, 60Х2СМФ; опорних - бочки 9ХФ, серцевина - 40ХН2МА.

Твердість поверхні валків по Шору (ГОСТ 3541-79): робочих (бочка) - від 90 до 102 од.; опорних (бочка) - від 60 до 85 од. Робочі валки змонтовані на роликівих підшипниках, опорні встановлені на підшипниках рідинного тертя (ПРТ = 900мм). Тривалість роботи опорних валків без перешліфовки не більш 2 тижнів. Після перевалки опорні валки піддаються обдиранню до повного зняття, наклепаного шару. Поверхні бочок робочих валків шліфовані по 7-8 класам (ГОСТ 2789 - 73). Валки шліфуються навкруги 25 марки 14A25НСМ 1-2.

Вимір шорсткості поверхні валків виробляється переносним профілометром марки "Суртроник".

Опуклість робочого валка після шліфування вимірюється спеціальним приладом - пасометром (тип приладу ИУ-02, ИУ-05, ИУ-10, точність виміру складає 0,01мм) у двох взаємно - перпендикулярних площинах через 100мм по довжині бочки валка. Припустимі відхилення від заданої величини опуклості не більш 0,01мм. Аналогічно контролюється і профіль опорного валка. На валках, завалених у кліть після їхнього профілювання, необхідно для забезпечення необхідного профілю штаби (листа) починати прокатку з більш широких штаб з поступовим переходом на більш вузькі. Прокатка широких штаб після вузьких не допускається [17].

Коротка технічна характеристика валків приведена в таблиці 1.2 .

Поворотний пристрій

Поворотний пристрій призначений для прийому рулонів з роликівого похилого конвеєра, що підводить, повороту його навколо вертикальної осі на 180° і подачі на скидач рулонів.

Таблиця 1.2 – Характеристика робочих і опорних валків

Найменування валка	Розміри, мм				Вага, т
	Бочки		Шейки		
	Діаметр	Довжина	Діаметр	Довжина	
Робочі	510/470	1680	260	250	3,32
Опорний	1420/1370	1760	890/734 (конус)	780	31,65

Скидач рулонів

Скидач рулонів призначений для прийому рулонів поворотного пристрою, правильної установки його щодо подовжньої осі розмотувача, скидання рулону в колиску розмотувача. Скидач складається з коліски рольганга і пристрою, що переміщається.

Ємність рулонів, шт	1
Ухил роликів рольганга, град. при прийомі рулону	3
при скиданні рулону	0
Кут повороту коліски при скиданні, град	23
Тиск стиснутого повітря, кПа	506
Швидкість переміщення упора, мм/с	13,4

Розмотувач

Розгортувач призначений для правильної установки рулону щодо подовжньої осі стану, повороту рулону в положення, що забезпечує можливість захоплення зовнішнього кінця штаби відгиначем, відгинання кінця штаби відгиначем і завдання його в прес-проводку. Розгортувач складається з коліски, центрувача, електромагнітного відгинача, опорних роликів.

Швидкість підйому й опускання коліски, мм/с	20
Швидкість переміщення кареток центрувача, мм/с	84
Відстань між голівками конусів, мм:	
мінімальне	280
максимальне	1680
Найбільше зусилля затиску конусами центрувача, кН	100
Переміщення кареток від електродвигуна:	
потужність, кВт	30
частота обертання, об/хв	750
Піднімальна сила електромагніта, кН	20

Найбільший кут повороту важелів, град	62
Час опускання (підйому) важелів:	
при мінімальному діаметрі рулонів, с	2,5
Діаметр ролика, що тягне, мм	305
Окружна швидкість ролика, що тягне, м/с	0,5

Роликова прес - проводка

Призначена для створення натягу штаби перед кліттю в процесі прокатки. Роликова прес-проводка складається з верхньої і нижньої рам, вузла роликів діаметром 180 мм, направляючого пристрою.

Переміщення верхнього столу прес-проводки у вертикальній площинності виробляється від пневмоциліндру діаметром 400 мм.

Моталка барабанного типу

Моталки барабанного типу (2 шт.) установлені з передньої і задньої сторін кліті і призначені для змотування штаби, що прокатується, і створення натягу штаби при прокатці (рис. 1.6).

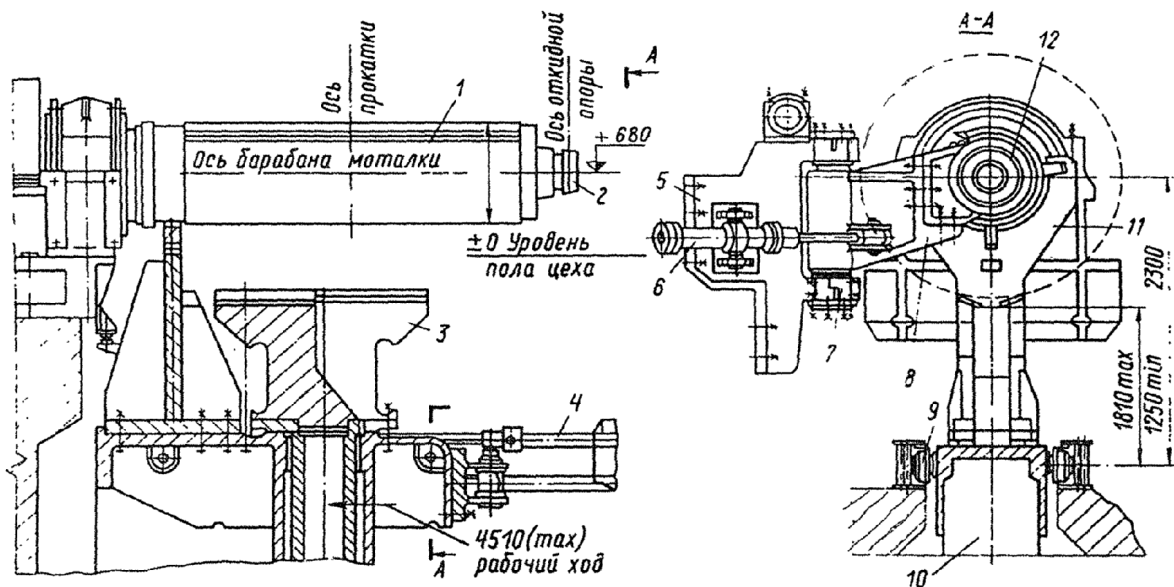
Діаметр барабана в розціпленому стані, мм	760
Довжина барабана, мм	1790
Діаметр барабана, мм	200
Натяг штаби створюване моталкою, т	18
Привід кожної моталки від електродвигуна потужністю, л. с	600
Число оборотів барабана моталки, об/хв:	
мінімальне	28,5
максимальне	104,37

Знімач рулонів

Знімач рулонів призначений для зняття рулону з барабана моталки і подачі його на відводчий конвеєр видачі рулонів. Знімач рулонів складається з візка, з рухливою вилкою, коліски горизонтального циліндра і рухливого настилу.

Максимальна маса рулону, т	15
----------------------------	----

Максимальний зовнішній діаметр рулону, мм	1600
Швидкість переміщення візка, м/с	0,25
Швидкість підйому колиски, м/с	0,1
Швидкість кантування рулону, м/с	0,1
Тиск у гідросистемі знімача, МПа	0,32



1 - барабан моталки; 2 - конічний роликпідшипник; 3 - стіл; 4 - рухомий настил; 5 - поворотна опора; 6 - циліндр гідравлічний; 7 - вісь; 8-поворотний кронштейн; 9 - ковзанка; 10 - візок зі столом; 11 - зварена вилка; 12 - корпус підшипника

Рисунок 1.6 – Поворотна додаткова опора для консольного барабана моталки і знімач рулонів:

Механізм перевалки опорних валків

Механізм перевалки опорних валків призначений для комплекту опорних валків з подушками.

Маса валків з подушками, т	106,6
Маса частин каретки, що переміщуються, т	5,56
Розрахункове зусилля, що тягне, кг	16880
Швидкість руху каретки, м/хв	2

Хід каретки, мм	4600
Передаточне число редуктора	253
Електродвигун:	
Потужність, кВт	11
Частота обертання, хв^{-1}	685

1.5 Заходи щодо реконструкції

У якості заходу реконструкції пропонується заміна існуючих моталок на сучасні моталки потужністю 1230 кВт фірми «Siemens VAI» (рис. 1.7).

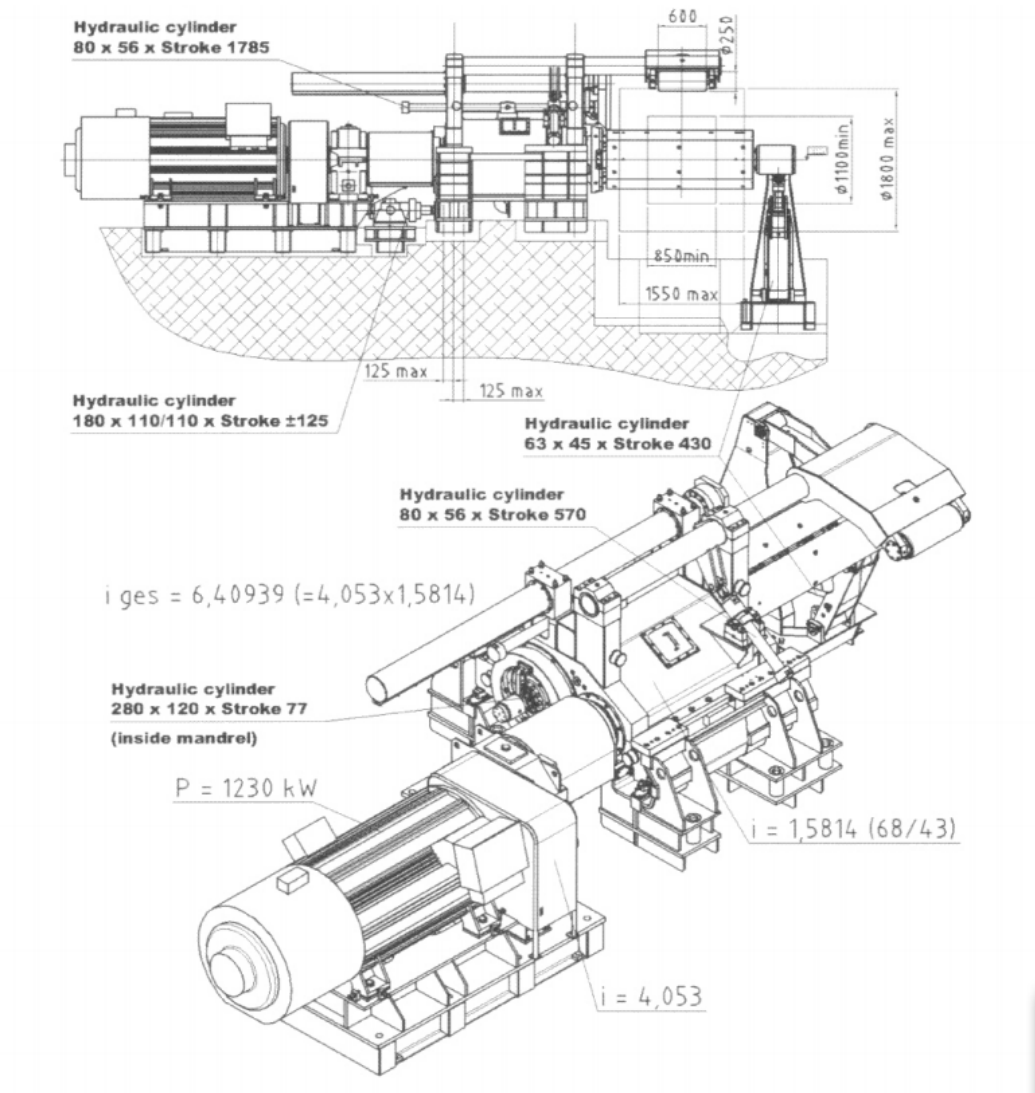


Рисунок 1.7 – Моталка фірми «Siemens VAI»

В даний час сортаменту прокату сплавів розширена за рахунок збільшення попиту на продукцію з передовими механічними властивостями.

З цієї причини з'являються кілька напрямків розвитку технологій змотування.

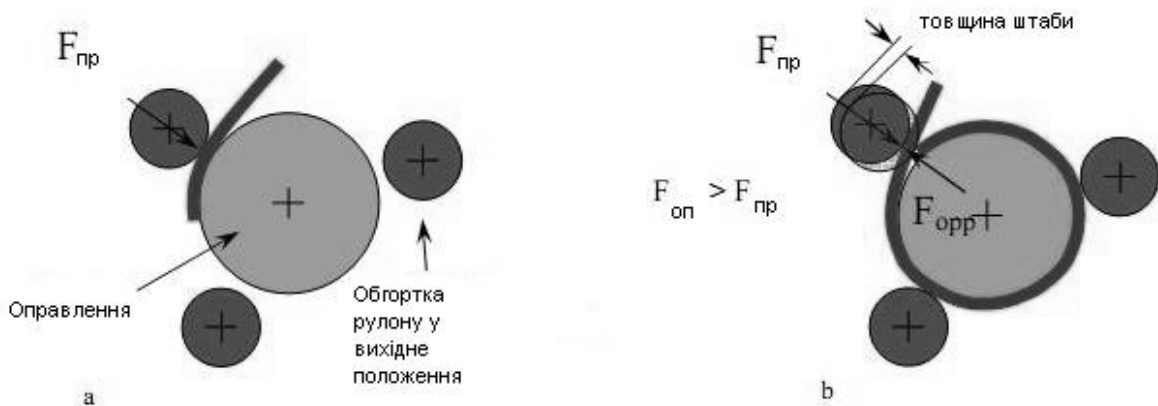
- змотування штаб з меншою шириною (до 800 мм).
- змотування тонкої штаби (до 0,1 мм) з більш тривалим часом змотування.
- змотування штаб з нормальної ширини (800-2100 мм) з обмеженою сили і товщини матеріалу.
- намотування штаб з нормальної ширини (800-2100 мм) з підвищеною міцністю матеріалу і товщини зразка (потужність змотувача).

На відміну від своїх попередників, впроваджений вид моталки з повністю гідравлічним приводом. Це дає можливість поліпшити автоматичний контроль якості компонентів змотувача. Гідравлічна система має два контури: контур 1-125 бар; ланцюга 2-290 бар. Другий контур використовується для швидкого регулювання необхідних компонентів, таких як обгортки і притискні валки, а також бокових напрямних.

Обгортки рулону відносяться до основної вниз компоненти змотувача. Вони використовуються для формування вигину і штовхаючи коридор для штаби, коли вона починає бути обгорнута навколо оправлення. Обгортка валка має два режими роботи [18-19].

У силу управління (рис.1.8) режимі, коли перший шар обгорнутий, з'єднання разом з рулоном притискаються до штаби з певним необхідним мінімальним зусиллям, а потім він переміщається вгору на штабі з кожної обгортки на суму товщина штаби (рис. 1.8 а - намотування початку, 1.8 б - після першого плівка). Складність полягає у визначенні сили, з якою обгортка рулону повинна бути притиснена до штаби, тому що, з одного боку сила повинна бути достатньою для досягнення хорошої якості змотування, а з іншого боку, це зусилля не повинно призвести до пошкодження штаби (у

випадку дуже тонких і «м'яких» матеріалів). Ця сила повинна бути менше виштовхуючої сили ($F_{пр}$), яка генерується штаби після кожної обгортки.



а - змотування-старт, б - після першої обгортки

Рисунок 1.8 - Принцип сили управління обгортці рулону:

Основною перевагою режимі управління «Крок» є те, що вона дає можливість зменшити поверхню штаби збитки викликаною краю кінця штаби голови, що натиснута в наступні обгортання. У той же час, зменшення сили розширення використовується в оправці для того, щоб зменшити тиск на кінці штаби голови зсередини системи. Загалом, спосіб ступеневої управління активується на штабу датчиків, починаючи з 2 мм. Це пов'язано з високою стартовою швидкості змотування.

Одним з таких прокатних цехів з виробництва листового прокату працює при хеш Hohenlimburg Німеччини. Змотувачі встановлені на цьому заводі, має такі характеристики:

Переміщення моталки	±125 мм;
Максимальна вага рулонів	18,5 т;
Діаметр рулонів	1100-1800 мм;
Ширина рулону	850-1550 мм;
Товщина штаби	0,1-6 мм.

Унікальною особливістю моталки в тому, що штаба змотування початкова швидкість може бути до 15,5 м / с.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ТА РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технології прокатки передніх і задніх кінців штаби на безперервному 4-х клітьовому стані 1 680 ЦХП-1

В даний час у зв'язку з кризовою ситуацією на ринку металопродукату в умовах жорсткої економії сировини та енергоресурсів особливо актуальною є проблема зниження витрат металу на виробництво прокату. Значного економічного ефекту можна досягти знизивши довжину переднього і заднього кінців штаби, прокатаних не в допуску по товщині, і тим самим підвищити вихід годного холоднокатаного прокату.

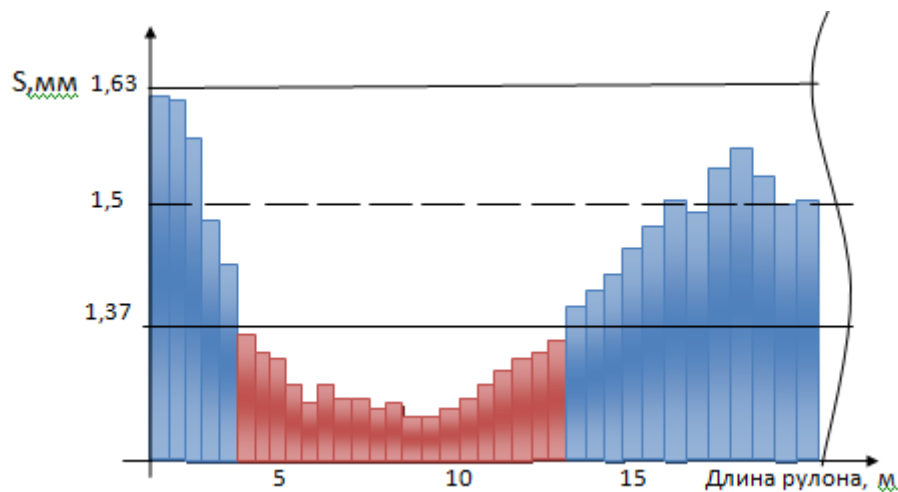


Рисунок 2.1 - Гістограма товщини переднього кінця рулону перетином 1,5x1000мм,

Згідно з технологічною інструкцією холодна прокатка переднього кінця рулону на безперервному 4-х клітьовому стані 1680 проводиться за технологією, при якій передній кінець штаби, що задається в зів барабана моталки після прокатки в безперервному 4-х клітьовому стані 1680 Тандем повинен перебувати в межах допуску по товщині. Щотижня в ході кожної інспекторської перевірки ВТК спільно зі старшим майстром прокатного відділення перевіряється товщина переднього кінця рулону шляхом заміру

мікрометрів першого внутрішнього витка, результати вимірів заносяться в акт-припис. Якщо товщина штаби виходила за межі плюсового допуску, то вальцовщик виписувався талон - попередження за порушення технологічної інструкції.

За існуючою технологією передній кінець 10-12м нижче мінусового допуску, інструкція не забезпечує необхідної товщини.

В результаті проведених досліджень було виявлено, що при обговореному в ТІ режимі обтиснень на ділянці переднього кінця штаби довжиною 10-12м товщина штаби виходить за межу мінусового допуску, що в свою чергу тягне за собою підвищений вихід обрізу на дресирувальних станах і агрегатах різання.

Тобто було встановлено, що вказаний в ТІ режим не забезпечує необхідної товщини переднього кінця штаби, а значить підлягає перегляду.

Даний ефект на мою думку пояснюється тільки одним - зміною величини масляного клина в підшипниках рідинного тертя опорних валків

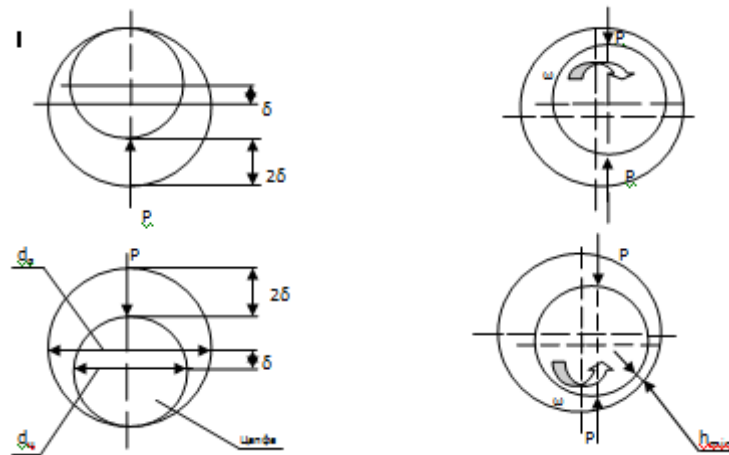


Рисунок 2.2-Схема створення масляного клина в ПЖТ.

У положенні спокою цапфа, навантажена зовнішньою силою P , лежить у вкладиші; центр цапфи зміщений вниз на величину радіального зазору δ . При обертанні цапфи мастило, що подається під тиском затягується в звужується зазор між цапфою і вкладишем, масло нагнітається в утворюється масляний клин, тиск в клині зі збільшенням швидкості підвищується і,

подолавши зовнішнє навантаження P , змусить зміститися цапфу вліво і вгору (у напрямку обертання) по відношенню до вертикальної осі, що проходить через центр вкладиша. Внаслідок зміни масляного клина відбувається збільшення обтиснень по клетям стану.

Мінімальну товщину масляного клина розраховують відповідно до закону течії в'язкої рідини Ньютона-Рейнольдса.

$$h_{min} = \frac{\delta}{\frac{P \delta^2}{+10,4 \mu u L^2 d}}$$

де h_{min} – мінімальна товщина масляного шару;

P – вантажопідйомність підшипника ($P=2500\text{т}$);

μ – абсолютна в'язкість масла в ПЖТ ($\mu=420\text{мм}^2/\text{с}$);

d – діаметр цапфи ($d=800\text{мм}$);

δ - Радіальний зазор в підшипнику ($\delta=0,8\text{мм}$);

h_{min} - Мінімальна товщина масляного шару, мм;

L - довжина цапфи ($L=695\text{мм}$);

u – окружна швидкість, с^{-1} .

	1 кліть	2 кліть	3 кліть	4 кліть
$u, \text{с}^{-1}$	2-12	3-16	4-19	5-22
$h_{min}, \text{мм}$	0,772 -0,784	0,773-0,788	0,774-0,789	0,776-0,791

Розрахункові дані підтверджуються і результатами вимірів. Раніше на безперервному 4-х клітьовому стані були виміряні фактичні величини переміщення шийок опорних валків в ПЖТ. Аналіз отриманих даних показав, що величина переміщення шийки, при інших рівних умовах, в основному залежить від швидкості прокатки, причому масляний клин миттєво реагує на зміну швидкості.

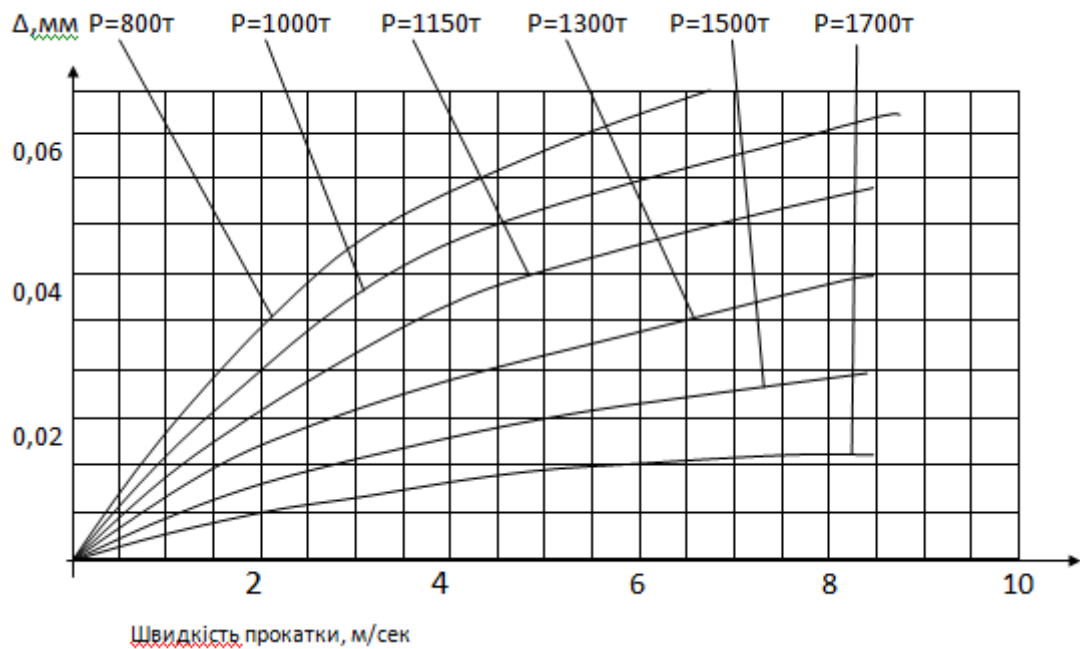


Рисунок. 2.3 - Діаграма залежності переміщення шийки опорного валка в ПЖТ від швидкості і тиску прокатки.

Максимальне переміщення шийки відбувається в межах швидкостей прокатки 1-6 м / сек. При подальшому збільшенні швидкості приріст товщини масляного клина швидко зменшується. Крім того, на величину переміщення шийки впливає тиск прокатки. Так, при тиску $P = 900$ тон і швидкості прокатки в 4 кліті 8 м / сек максимальне переміщення шийки склало 0,07 мм, а при $P = 1300$ т переміщення склало 0,04 мм.

Переміщення шийок опорних валків в ПЖТ підкоряються криволинейному закону, близьким до параболи.

Виходячи з вищевикладеного з метою зниження обрізків і підвищення виходу придатного холоднокатаного прокату по товщині, пропоную проводити прокатку переднього кінця штаби на безперервному 4-х клітьовому стані з вдосконаленням :

При прокатці переднього кінця рулону необхідно підняти натискні гвинти в кожній кліті в порівнянні зі старою технологією з таким розрахунком, щоб товщина переднього кінця штаби, що задається в зів барабана моталки була вище плюсового допуску по товщині на 0,1-0,2. При

цьому в процесі розгону стану внаслідок утворення масляного клину в ПЖТ товщина переднього кінця штаби знизиться до номінальної і не буде виходити за межі мінусового допуску по товщині (рис 2.4)

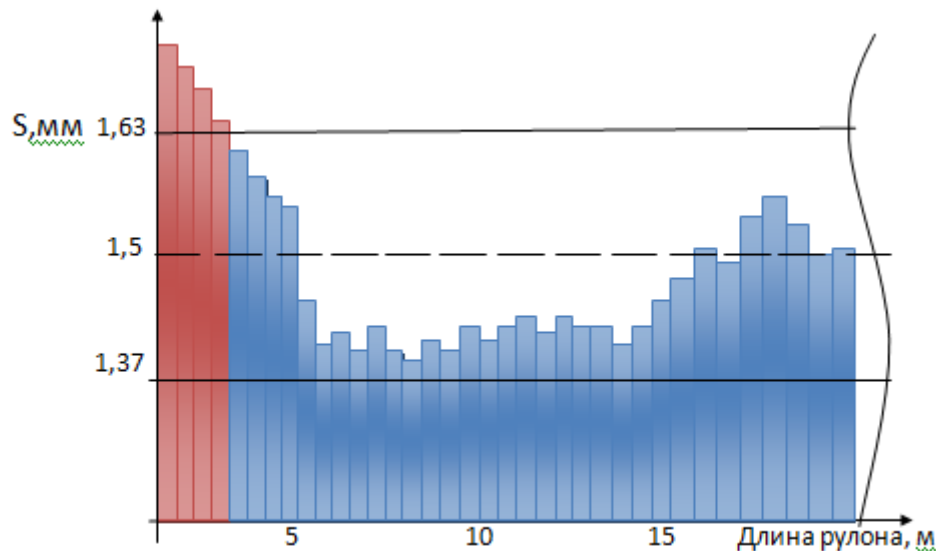


Рисунок 2.4- Гістограма товщини переднього кінця рулону, прокатанного за вдосконаленням.

При прокатці за новою технологією довжина переднього кінця штаби, прокатаного не в допуску по товщині, становить 2-3м проти 10-12м за старою технологією, що в свою чергу дозволяє знизити вихід обрізу на передніх кінцях рулону через невідповідність заданої товщини.

Але це, що стосується переднього кінця штаби. Для досягнення максимального ефекту ми розглянули можливість зниження товщини і процес гальмування стану симетричний процесу розгону і при гальмуванні в ПЖТ спостерігаються прямо протилежні процеси ніж при розгоні, тобто при гальмуванні за рахунок зниження товщини масляного клина при зменшенні швидкості, опорні валки розлучаються, таким чином знижуються обтиск в кожній кліті стану. Для компенсації швидкісного ефекту здійснюється додаткове обтиснення заднього кінця 1 і 2 клетями стану.

Однак, незважаючи на це товщина заднього кінця штаби перевищує допустиму на 0,2-0,3, а довжина потовщеного заднього кінця штаби досягає 25-30м як це показано на гістограмі товщини (рис 2.5).

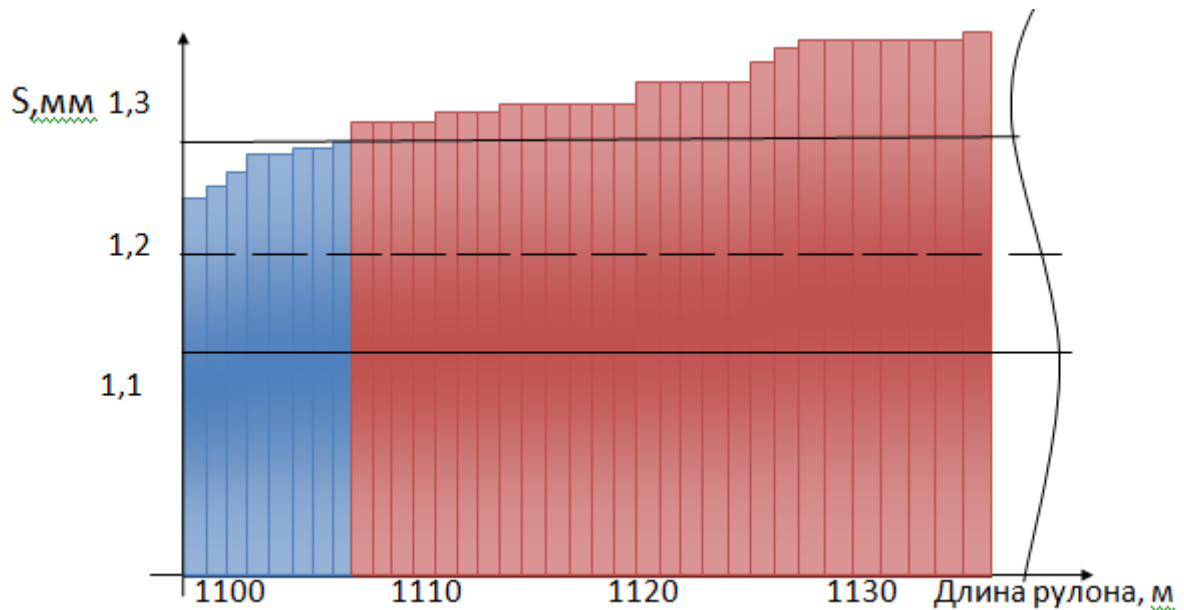


Рисунок 2.5 - Гістограма товщини заднього кінця штаби, прокатаного за обумовленою в ТІ.

Збільшення обтиску в клітках 1 і 2 на задньому кінці штаби проти передбачених інструкцією не завжди можливо через високу ймовірність пошкодження валків. Розроблений і впроваджений у виробництво новий режим обтиснень передбачає додаткове обтиснення заднього кінця штаби валками 3-й кліті. Необхідна переміщення натискних гвинтів 3-й кліті для усунення поздовжньої різнотовщинності заднього кінця штаби розраховується за формулою:

$$S = \Delta h_k (1 + M_p / M_k),$$

де Δh_k - необхідна обтиснення заднього кінця штаби для усунення поздовжньої різнотовщинності,

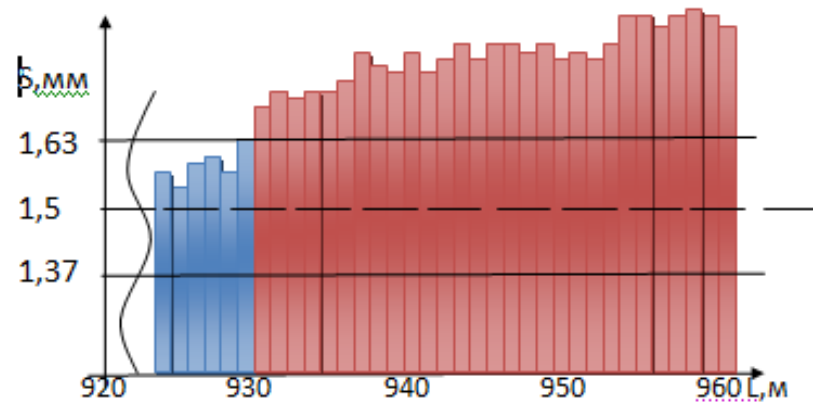
M_p і M_k - модуль жорсткості штаби і кліті відповідно.

$$S = \Delta h_k (1 + M_{\text{п}}/M_{\text{к}}),$$

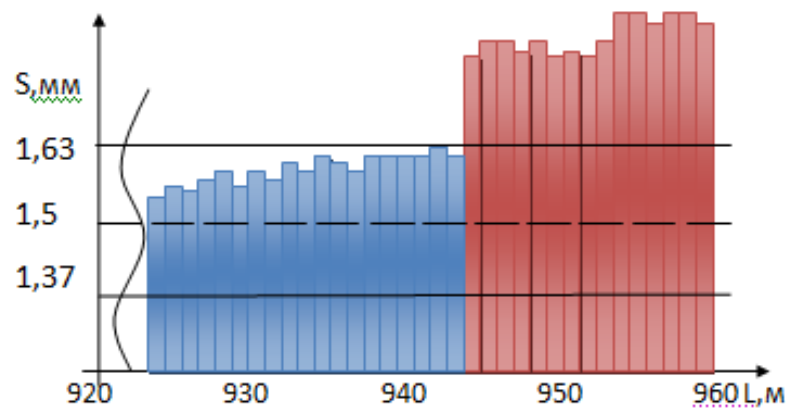
де Δh_k – необхідне обтискання заднього кінця штаби для видалення тертя прокільної різнотовщинності,

$M_{\text{п}}$ и $M_{\text{к}}$ – модуль жорсткості штаби та кліти відповідно.

Формула для визначення переміщення натискних гвинтів для усунення поздовжньої різнотовщинності заднього кінця штаби.



Гістограма товщини заднього кінця полоси сечением 1,5x1000мм, прокатанної по оговоренной в ТИ технології.



Гістограма товщини заднього кінця полоси сечением 1,5x1000мм, прокатанної по новій технології.

Рисунок 2.6- Гістограми товщини штаб, прокатаних за старою і новою технологією.

Але як показує практика, максимальне обтискання в 3 кліти не може перевищувати 0,4 мм (по продуктіметрам), т. як. при більш високому

додатковому обтисненні відбувається втрата стійкості штаби в валках і виникає ймовірність пошкодження робочих валків.

№ кліті	Стара технологія	Нова технологія
1	0,7-1,1мм	0,7-1,1мм
2	0,5-0,9мм	0,5-0,9мм
3	↑	0,1-0,4мм
4	↑	↑

Величина додаткового поджима 1,2 і 3 клітей залежить від марки сталі, вихідної та кінцевої товщини прокату, ширини, величини межклетевого натягу і ряду інших технологічних факторів

З гістограм видно, що довжина заднього кінця штаби, прокатанного не в межах допуску по товщині при додатковому обтиску в 3 кліті в 2 рази менше і становить 12-16м проти 25-30м за вдосконаленням.

2.2 Визначення товщини вихідного підкату

Товщина вихідного підкату визначається по формулі:

$$h_{\max} = \frac{h_k}{1 - \varepsilon_{\Sigma}}$$

де $h_k = 0,5$ мм – товщина листа після останнього проходу.

ε_{Σ} – сумарний обтиск в частках одиниць.

Найкращі механічні властивості холоднокатаної сталі виходять при відносному обтиску близько 0,5-75 % [5]. При виробництві тонких холоднокатаних листів на практиці прийнято приймати $\varepsilon_{\Sigma} = 0,75$.

Тоді:

$$h_{\max} = \frac{0,5}{1 - 0,75} = 2 \text{ мм}$$

Ширина вихідного підкату (із завдання роботи бакалавра) $b = 1000$ мм.
З обліком вищесказаного, як вихідний підкат приймаємо гарячекатану протравлену штабу перетином 2×1000 . Марка сталі – 08 кп.

Хімічний склад маловуглецевої сталі 08 кп (ДСТ 19904 - 90):

C – (0,05 ÷ 0,11) %

Si – 0,03 %

Mn – (0,25 ÷ 0,5) %

Cr – 0.1 %

2.3 Вибір схеми прокатки

Розрахунок виконуємо по методу проф. Ніколаєва В.О. [1-4].

Намічаючи розподіл обтисків по проходах, будемо орієнтуватися з послідовним зменшенням відносних обтисків від першого до останнього проходу.

Приймаємо згідно роботи [3] наступну схему прокатки:

Вихідна і кінцева товщина штаби	№ проходу	Товщина штаби, мм		Обтиск за пропуск		Сумарний обтиск	
		до	після	Δh , мм	ϵ , %	Δh , мм	ϵ , %
2,0 – 0,5	0	перемотування					
	1	2,0	1,30	0,70	35,0	0,7	35,0
	2	1,3	0,85	0,45	34,5	1,15	57,5
	3	0,85	0,6	0,25	20,4	1,4	70,0
	4	0,6	0,5	0,10	16,7	1,5	75,0

При такому розподілі обтисків вдається забезпечити приблизно рівномірне завантаження кліті по силі прокатки, оскільки зниження обтисків компенсує ріст контактних тисків у зв'язку з наклепом металу і зменшенням його товщини.

Швидкість прокатки в останньому проході приймаємо рівної 4,7 м/с.

Швидкість прокатки в попередніх прокатах v_i визначаємо по залежності:

$$v_i = \frac{v_k \cdot h_k}{h_i} \quad (2.1)$$

де $v_k = 4,7$ м/с – швидкість прокатки в останньому проході.

$$v_1 = \frac{4,7 \cdot 0,5}{1,3} = 1,81 \text{ м/с,}$$

$$v_2 = \frac{4,7 \cdot 0,5}{0,85} = 2,76 \text{ м/с,}$$

$$v_3 = \frac{4,7 \cdot 0,5}{0,6} = 3,92 \text{ м/с.}$$

Прохід 1

Визначимо коефіцієнти тертя при температурі деформації $t = 25$ °С .

Коефіцієнт тертя дорівнює

$$f = f_0 \cdot k_d \cdot k_p \cdot k_{cm} \cdot k_t, \quad (2.2)$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя;

k_d , k_p , k_{cm} – поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно величину обтиску, шорсткість поверхні штаби, тип технологічного змащення й температуру штаби.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f_0 = 0,076 - 0,0019V + 0,031(R_a - 0,6)[(1,07 - 0,14V)^3 + 0,054V - 0,26]; \quad (2.3)$$

Коефіцієнт k_d дорівнює

$$k_d = 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_a(1 - 3,33\varepsilon), \quad (2.4)$$

Коефіцієнт k_n дорівнює

$$k_n = 1,09 - 0,05R_a, \quad (2.5)$$

Коефіцієнт k_t визначаємо по формулі:

$$k_t = a + c(1,11 - 0,0044 \cdot t_H)^n, \quad (2.6)$$

де t_H – температура металу перед осередком деформації;

a , c , n – коефіцієнти рівні:

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7\varepsilon, \\ c &= 1,2 - 2,8\varepsilon, \\ n &= 3,84 - 5,7\varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Для наведених вихідних даних по формулах ($k_{cm} = 1$; $k_v \approx 1$; $R_a = 2,5$ мкм) отримаємо:

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 1,81 + 0,031(2,5 - 0,6)[(1,07 - 0,14 \cdot 1,81)^3 + 0,054 \cdot 1,81 - 0,26] = 0,095$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,35 + 0,165 \cdot 2,5 (1 - 3,33 \cdot 0,35) = 1,05$$

$$k_{\pi} = 1,09 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,97$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,35 = 0,91$$

$$c = 1,20 - 2,8 \cdot 0,35 = 0,22$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,35 = 1,85$$

$$k_t = 0,91 + 0,22(1,11 - 0,0044 \cdot 25)^{1,85} = 1,13$$

$$f = 0,095 \cdot 1,05 \cdot 0,97 \cdot 1,13 = 0,11$$

показник тертя з виразу дорівнює

$$f_{\pi} = 1,6 \cdot 0,11 - 0,018 = 0,16.$$

Розраховуємо границю текучості металу. Сталь марки 08кп містить наступні хімічні елементи (%): (0,14-0,22)C; (0,05-0,17)Si; (0,40-0,65)Mn. Вуглецевий еквівалент для вуглецевої сталі в загальному випадку дорівнює

$$C_{\Sigma} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5}; \quad (2.8)$$

Базовий (вихідний після відпалу) границя текучості й збільшення границі текучості відповідно рівні:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\pi 0} &= 210 + 263C_{\Sigma}; \\ \Delta \sigma_{\pi} &= 209 + 460C_{\Sigma}. \end{aligned} \right\}; \quad (2.9)$$

Коефіцієнт, що враховує обтиск дорівнює:

$$k_{\varepsilon} = 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon \Sigma}{0,4}\right)^{1,65}, \quad (2.10)$$

Границя текучості металу після проходу визначаємо за виразом:

$$\sigma_{Tl} = \sigma_{Te} + \Delta\sigma_T \cdot k_\varepsilon. \quad (2.11)$$

Границя текучості розраховуємо при максимальному вмісту хімічних елементів:

$$C_s = 0,11 + 0,03/24 + 0,5/6 + 0,1/5 = 0,215;$$

$$\sigma_{T0} = 210 + 263 \cdot 0,215 = 266 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\Delta\sigma_T = 209 + 460 \cdot 0,215 = 308 \text{ Н/мм}^2;$$

$$k_\varepsilon = 1 - \left(1 - \frac{0,35}{0,4}\right)^{1,65} = 0,97$$

$$\sigma_{Tl} = 298 + 363 \cdot 0,97 = 564 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma'_{Tl} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_\varepsilon; \quad (2.12)$$

границю текучості металу на міжклітьовому проміжку (перед наступною кліттю) визначимо по формулі:

$$\sigma_{T(i-1)} = n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_{\varepsilon(i-1)}; \quad (2.13)$$

Середній опір металу у осередку деформації дорівнює:

$$\sigma_\phi = 1,15[\sigma_{T(i-1)} + 0,67(\sigma'_{Tl} - \sigma_{T(i-1)})]; \quad (2.14)$$

n_u і n_t визначаємо з виразу:

$$\left. \begin{aligned} n_u &= 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln u}{13,8}\right)^2; \\ n_t &= 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{t_H}{300}\right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

Швидкість деформації визначаємо з виразу:

$$u = V \cdot \varepsilon / l_c$$

Оскільки довжина дуги l_c поки невідома, попередньо застосуємо l_c/l_d :
прохід 1,2 – (1,3-1,4).

Для проходу 1 маємо

$$l_c = 1,4 \sqrt{215 \cdot 0,7} = 17,17 \text{ мм.}$$

$$u = 1810 \cdot 0,35 / 17,17 = 37 \text{ с}^{-1}$$

$$\ln u = 3,61$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{3,61}{13,8} \right)^2 = 1,22;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{25}{300} \right)^2 = 0,99.$$

$$\sigma'_{тл} = 1,22 \cdot 0,99 \cdot 266 + 308 \cdot 0,97 = 621 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{т(i-1)} = \sigma_{то} = 266 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15 [266 + 0,67(621 - 266)] = 579 \text{ Н/мм}^2.$$

Довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби дорівнює:

$$l'_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Lambda h \left(1 - c \frac{fn}{2hcr}\right)}}{2 \left(1 - c \frac{fn}{2hcr}\right)}; \quad (2.16)$$

$$\left. \begin{aligned} c &= ncr \cdot \sigma_{\phi} \frac{R}{47500} \\ x_2 &= n_1 \cdot \sigma_{\phi} \frac{R}{95000} \end{aligned} \right\}; \quad (2.17)$$

$$l_c = l'_c + x_2; \quad (2.18)$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2\sigma\phi}; \quad n_l = 1 - \frac{\sigma_n}{\sigma_{cp1}}, \quad (2.19)$$

Напруга, натяг змінюються в широких межах. Для неперервного стану перед проходом 1 напруга σ_2 дорівнює 20-30 Н/мм². На проміжних ділянках

$$\sigma_{п} = (0,1-0,2) \sigma_{т1}, \text{ а } \sigma_2 = (0,1-0,2) \sigma_{т(i-1)}$$

Тому що розрахунок виконуємо для проходу 1, то приймаємо $\sigma_2 = 25$ Н/мм², а $\sigma_{п} = 0,15 \cdot 621 = 93$ Н/мм². З виразу знайдемо:

$$n_{cp} = 1 - \frac{25 + 93}{2 \cdot 621} = 0,90; \quad n_l = 1 - \frac{93}{621} = 0,84.$$

З виразу знаходимо параметри C і x_2 :

Складова дуги контакту з виразу дорівнює:

$$c = 0,90 \cdot 579 \cdot \frac{215}{47500} = 2,35 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,84 \cdot 579 \cdot \frac{215}{95000} = 1,10 \text{ мм}.$$

$$l'_c = \frac{2,35 + \sqrt{2,35^2 + 4 \cdot 215 \cdot 0,7(1 - 2,35 \frac{0,16}{2 \cdot 1,65})}}{2(1 - 2,35 \frac{0,16}{2 \cdot 1,65})} = 14,4 \text{ мм}.$$

Повна довжина дуги контакту дорівнює:

$$l_c = 14,4 + 1,1 = 15,5 \text{ мм}.$$

Знаходимо енергосилові параметри прокатки:

$$p'_{cp} = \sigma_{cp} (1 + 0,48 \cdot f_n \cdot l_c / h_{cp}); \quad (2.20)$$

І з урахуванням натягу

$$p_{cp} = p'_{cp} \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2p'_{cp}}\right); \quad (2.21)$$

Всі параметри відомі, то одержимо:

$$p'_{cp} = 579(1 + 0,48 \cdot 0,16 \cdot 15,5/1,65) = 901 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp} = 901 \left(1 - \frac{25 + 93}{2 \cdot 901}\right) = 842 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки:

$$P = 842 \cdot 0,0155 \cdot 1,03 = 13,44 \text{ МН.}$$

Момент прокатки з урахуванням впливу натягу дорівнює (на двох валках):

$$M = 2\Psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_2 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_3}\right); \quad (2.22)$$

$$\Psi = 0,48(l_d/l_c)^2; \quad (2.23)$$

$$\Psi = 0,48 \left(\frac{12,27}{15,5}\right)^2 = 0,30$$

Крутний момент на двох валках

$$M = 2 \cdot 0,30 \cdot 13,44 \cdot 0,0155 + 2,0 \cdot 1000 \cdot 0,215 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{1,3 \cdot 93}{2,0 \cdot 25}\right) = 0,136 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Потужність на бочку валків

$$N = 960 \cdot 0,136 \cdot 1,83/0,215 = 1102 \text{ кВт}$$

Визначимо температуру t_k штаби після проходу:

$$t_k = \varphi t_H + \Delta t, \quad (2.24)$$

де Δt - переміщення температури у осередку деформації:

$$\Delta t = 0,05 m \cdot (p_{cp} + \sigma_{\phi}) \ln H/h, \quad (2.25)$$

де m - коефіцієнт, рівний для низьковуглецевої сталі,

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{t_H}{480} - 0,042 \right)^{1,4} \quad (2.26)$$

для наших умов одержимо:

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{25}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,2;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,2 \cdot (842+579) \ln 2,0/1,3 = 67 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_k = 1 \cdot 25 + 67 = 92 \text{ }^\circ\text{C}$$

Прохід 2

Інші параметри визначимо за алгоритмом розрахунку для проходу 2:

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 2,76 + 0,031(2,5 - 0,6) [(1,07 - 0,14 \cdot 2,76)^3 + 0,054 \cdot 2,76 - 0,26] = 0,083$$

Коефіцієнт k_d дорівнює

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,3462 + 0,165 \cdot 2,5 (1 - 3,33 \cdot 0,3462) = 1,05$$

Коефіцієнт k_{π} дорівнює

$$k_{\pi} = 1,09 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,97$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,3465 = 0,90$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,3465 = 0,23$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,3465 = 1,85$$

$$k_t = 0,90 + 0,23(1,11 - 0,0044 \cdot 92)^{1,85} = 1,02;$$

$$f = 0,083 \cdot 1,05 \cdot 0,97 \cdot 1,02 = 0,09;$$

$$f_{\pi} = 1,6 \cdot 0,09 - 0,018 = 0,12.$$

Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_{ϵ} :

$$k_{\epsilon} = 1 + 0,87(0,575 - 0,4)^{0,5} = 1,36;$$

$$l_c = 1,4 \cdot \sqrt{215 \cdot 0,45} = 13,77 \text{ мм}$$

$$u = 2760 \cdot 0,3462 / 13,77 = 69 \text{ с}^{-1}$$

$$\ln u = 4,24$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{4,24}{13,8} \right)^2 = 1,25;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{92}{300} \right)^2 = 0,91.$$

$$\sigma'_{\tau 2} = 1,25 \cdot 0,91 \cdot 266 + 308 \cdot 1,36 = 722 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\tau(i-1)} = 0,91 \cdot 266 + 308 \cdot 0,97 = 540 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15 [540 + 0,67(722 - 540)] = 762 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній і передній натяг штаби в проході 2 і інші параметри рівні:

$$\sigma_2 = 0,15 \cdot 540 = 81 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\Pi} = 0,15 \cdot 722 = 108 \text{ Н/мм}^2.$$

$$n_{\text{cp}} = 1 - \frac{81 + 108}{2 \cdot 762} = 0,88;$$

$$n_1 = 1 - \frac{108}{762} = 0,86.$$

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

$$c = 0,88 \cdot 762 \frac{215}{47500} = 3,02 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,86 \cdot 762 \frac{215}{95000} = 1,48 \text{ мм}^2.$$

$$h_{\text{cp}} = 1,075 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,02 + \sqrt{3,02^2 + 4 \cdot 215 \cdot 0,45 \left(1 - 3,02 \frac{0,12}{2 \cdot 1,075}\right)}}{2 \left(1 - 3,02 \frac{0,12}{2 \cdot 1,075}\right)} = 12,74 \text{ мм};$$

$$l_c = 12,74 + 1,48 = 14,22 \text{ мм};$$

Знаходимо енергосилові параметри:

$$p'_{\text{cp}} = \sigma_{\Phi} (1 + C_H \cdot f_{\Pi} \cdot l_c / h_{\text{cp}});$$

$$C_H = 0,17 (1 + 14,7 \cdot 0,12) = 0,47;$$

$$p'_{\text{cp}} = 762 (1 + 0,47 \cdot 0,12 \cdot 14,22 / 1,075) = 1152 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{\text{cp}} = 1057 \text{ Н/мм}^2 \text{ (з врахуванням натягу)}$$

$$P = 1057 \cdot 0,01422 \cdot 1,03 = 15,48 \text{ МН.}$$

$$\psi = 0,48 \left(\frac{9,84}{14,22} \right)^2 = 0,23$$

$$M = 2 \cdot 0,23 \cdot 15,48 \cdot 0,01422 + 0,005 = 0,124 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$N = 960 \cdot 0,124 \cdot 2,76 / 0,215 = 1534 \text{ кВт}$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{92}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,15;$$

$$\Delta t = 83 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_k = 0,7 \cdot 93 + 83 = 148 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Прохід 3

Інші параметри визначимо за алгоритмом розрахунку для проходу 3:

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 3,92 + 0,031(2,5 - 0,6) [(1,07 - 0,14 \cdot 3,92)^3 + 0,054 \cdot 3,92 - 0,26] = 0,074$$

Коефіцієнт k_d дорівнює

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,2941 + 0,165 \cdot 2,5 (1 - 3,33 \cdot 0,2941) = 1,03$$

Коефіцієнт k_{Π} дорівнює

$$k_{\Pi} = 1,09 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,97$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,2941 = 0,81$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,2941 = 0,38$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,2941 = 2,16$$

$$k_t = 0,81 + 0,38(1,11 - 0,0044 \cdot 148)^{2,16} = 0,88;$$

$$f = 0,074 \cdot 1,03 \cdot 0,97 \cdot 0,88 = 0,06;$$

$$f_{\Pi} = 1,6 \cdot 0,06 - 0,018 = 0,09.$$

Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_{ε} :

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,7 - 0,4)^{0,5} = 1,48;$$

$$l_c = 1,5 \cdot \sqrt{215 \cdot 0,25} = 11 \text{ мм}$$

$$u = 3920 \cdot 0,2941 / 11 = 105 \text{ c}^{-1}$$

$$\ln u = 4,65$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{4,65}{13,8} \right)^2 = 1,27;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{148}{300} \right)^2 = 0,86.$$

$$\sigma'_{\tau 3} = 1,27 \cdot 0,86 \cdot 266 + 308 \cdot 1,48 = 744 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\tau(i-1)} = 0,86 \cdot 266 + 308 \cdot 1,38 = 649 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15 [649 + 0,67(744 - 649)] = 820 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній і передній натяг штаби в проході 3 і інші параметри рівні:

$$\sigma_2 = 0,15 \cdot 649 = 97 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\Pi} = 0,15 \cdot 744 = 112 \text{ Н/мм}^2.$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{97 + 112}{2 \cdot 820} = 0,87;$$

$$n_l = 1 - \frac{112}{820} = 0,86.$$

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

$$c = 0,87 \cdot 820 \frac{215}{47500} = 3,24 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,86 \cdot 820 \frac{215}{95000} = 1,60 \text{ мм}^2.$$

$$h_{cp} = 0,725 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,24 + \sqrt{3,24^2 + 4 \cdot 215 \cdot 0,25 \left(1 - 3,24 \frac{0,09}{2 \cdot 0,725} \right)}}{2 \left(1 - 3,24 \frac{0,09}{2 \cdot 0,725} \right)} = 10,39 \text{ мм};$$

$$l_c = 10,39 + 1,6 = 11,99 \text{ мм};$$

Знаходимо енергосилові параметри:

$$p'_{cp} = \sigma_{\phi}(1 + C_H \cdot f_{II} \cdot l_c/h_{cp});$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,09) = 0,39;$$

$$p'_{cp} = 820(1 + 0,39 \cdot 0,09 \cdot 11,99/0,725) = 1096 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 991 \text{ Н/мм}^2 \text{ (з врахуванням натягу)}$$

$$P = 991 \cdot 0,01199 \cdot 1,03 = 12,25 \text{ МН.}$$

$$\psi = 0,48 \left(\frac{7,33}{11,99} \right)^2 = 0,18$$

$$M = 2 \cdot 0,18 \cdot 12,25 \cdot 0,01199 + 0,005 = 0,071 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$N = 960 \cdot 0,071 \cdot 3,92/0,215 = 1243 \text{ кВт}$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{148}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,10;$$

$$\Delta t = 66 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_k = 0,7 \cdot 148 + 66 = 170 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Прохід 4

Інші параметри визначимо за алгоритмом розрахунку для проходу 4:

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 4,7 + 0,031(2,5 - 0,6)[(1,07 - 0,14 \cdot 4,7)^3 + 0,054 \cdot 4,7 - 0,26] = 0,071$$

Коефіцієнт k_d дорівнює

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,1667 + 0,165 \cdot 2,5 (1 - 3,33 \cdot 0,1667) = 0,98$$

Коефіцієнт k_{II} дорівнює

$$k_{II} = 1,09 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,97$$

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,1667 = 0,59$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,1667 = 0,73$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,1667 = 2,89$$

$$k_t = 0,59 + 0,73(1,11 - 0,0044 \cdot 170)^{2,89} = 0,63;$$

$$f = 0,071 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,63 = 0,04;$$

$$f_{\Pi} = 1,6 \cdot 0,04 - 0,018 = 0,05.$$

Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_{ε} :

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,75 - 0,4)^{0,5} = 1,51;$$

$$l_c = 1,5 \cdot \sqrt{215 \cdot 0,1} = 6,96 \text{ мм}$$

$$u = 4700 \cdot 0,1667 / 6,96 = 113 \text{ с}^{-1}$$

$$\ln u = 4,72$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{4,72}{13,8} \right)^2 = 1,27;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{170}{300} \right)^2 = 0,84.$$

$$\sigma'_{\tau 4} = 1,27 \cdot 0,84 \cdot 266 + 308 \cdot 1,51 = 751 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\tau(i-1)} = 0,84 \cdot 266 + 308 \cdot 1,48 = 679 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\phi} = 1,15 [679 + 0,67(751 - 679)] = 836 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній і передній натяг штаби в проході 3 і інші параметри рівні:

$$\sigma_2 = 0,15 \cdot 679 = 102 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\sigma_{\Pi} = 0,15 \cdot 751 = 113 \text{ Н/мм}^2.$$

$$n_{\text{ср}} = 1 - \frac{102 + 113}{2 \cdot 836} = 0,87;$$

$$n_{\text{I}} = 1 - \frac{113}{836} = 0,87.$$

Допоміжні параметри й довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби:

$$c = 0,87 \cdot 836 \frac{215}{47500} = 3,3 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 836 \frac{215}{95000} = 1,64 \text{ мм}^2.$$

$$h_{cp} = 0,55 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,3 + \sqrt{3,3^2 + 4 \cdot 215 \cdot 0,1(1 - 3,3 \frac{0,05}{2 \cdot 0,55})}}{2(1 - 3,3 \frac{0,05}{2 \cdot 0,55})} = 7,32 \text{ мм};$$

$$l_c = 7,32 + 1,64 = 8,96 \text{ мм};$$

$$p'_{cp} = \sigma_{\phi}(1 + C_H \cdot f_{\Pi} \cdot l_c / h_{cp});$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,05) = 0,24;$$

$$p'_{cp} = 836(1 + 0,24 \cdot 0,05 \cdot 8,96 / 0,55) = 920 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 812 \text{ Н/мм}^2 \text{ (з врахуванням натягу)}$$

$$P = 812 \cdot 0,00896 \cdot 1,03 = 7,5 \text{ МН.}$$

$$\psi = 0,48 \left(\frac{4,64}{8,96} \right)^2 = 0,13$$

$$M = 2 \cdot 0,13 \cdot 7,5 \cdot 0,00896 + 0,003 = 0,031 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$N = 960 \cdot 0,031 \cdot 4,7 / 0,215 = 646 \text{ кВт}$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{170}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,07;$$

$$\Delta t = 31 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_k = 0,7 \cdot 170 + 31 = 201 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результати розрахунку деформаційних та енергосилових параметрів прокатки штаби 0,5x 1000 мм представлені в таблиці 2.1. На рисунку 2.7 представлені графічні залежності розрахунків енергосилових параметрів при прокатці.

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри прокатки штаби 0,5x1000 мм

№ проходу	h, мм	Δh , мм	ϵ , %	ϵ_{Σ} , %	σ_T , Н/мм ²	l_c , мм	p_{cp} , Н/мм ²	P, МН	ψ	M, МН·м	N, кВт	V, м/с	t_k , °C	f_{II}
0	перемотування													
1	1,3	0,7	0,35	0,35	621	15,5	901	13,44	0,30	0,136	1102	1,81	92	0,16
2	0,85	0,45	0,3462	0,575	722	14,22	1152	15,48	0,23	0,124	1534	2,76	148	0,12
3	0,6	0,25	0,2941	0,7	744	11,99	1096	12,25	0,18	0,071	1243	3,92	170	0,09
4	0,5	0,1	0,1667	0,75	751	8,96	920	7,5	0,13	0,031	646	4,7	201	0,05

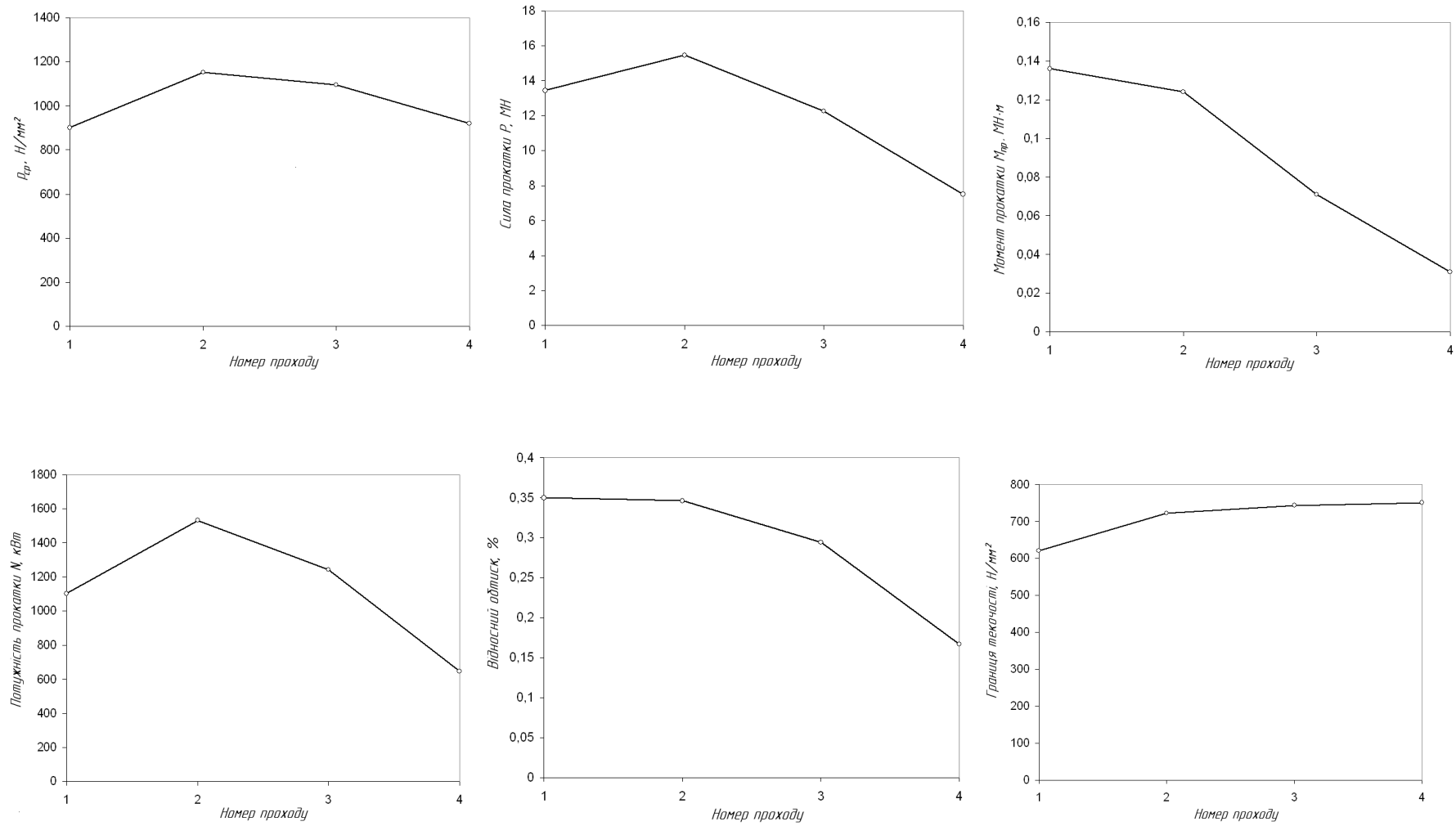


Рисунок 2.7 - Графічні залежності розрахунків енергосилових параметрів прокатки штаби 0,5x 1000 мм .

3 ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПРИ ПРОКАТУВАННІ

3.1 Розрахунок робочих і опорних валків на міцність

У стані кварта встановлена чотири валки: два робочі (меншого діаметра) і два опорних (більші діаметри). При прокатці тиск металу з робочих валків передається на опорні і сприймається їхніми підшипниками.

Виконати розрахунок робочих, опорних валків стана кварта безперервної прокатки для холодної прокатки штаби.

Для опорного валка: діаметр бочки валка 1370 мм, довжина бочки валка 1760 мм, довжина валка 5150 мм, діаметр шийки валка 734 мм, довжина шийки опорного валка 1695 мм.

Для робочого валка: діаметр бочки валка 470 мм, довжина бочки валка 1680 мм, довжина валка 3380 мм, довжина шийки валка 850 мм, діаметр шийки 260 мм. Максимальна сила прокатки – 21,6 МН. Максимальний крутний момент на одному робочому валку $M_{кр} = 0,23 / 2 = 0,115 \text{ МН} \cdot \text{м}$.
Схема до розрахунку наведена на рис. 3.1.

Визначаємо розмірні параметри валків і виконуємо ескіз валкового вузла й схему його навантаження (рис. 3.1) [16].

Робочі валки мають циліндричні шийки, тому $D_{БР} = 470 \text{ мм}$, а після останньої перешліфовки:

$$D_{БР \min} = D_{БР} - k_{Пр} \cdot D_{БР}, \quad (3.1)$$

де $k_{Пр}$ - коефіцієнт переточування.

$$D_{БР \min} = 470 - 0,040 \cdot 470 = 451 \text{ мм}.$$

$$a' = l_{БР} + 2 \frac{l_{шп}}{2} = 1680 + 2 \cdot \frac{850}{2} = 2530 \text{ мм}.$$

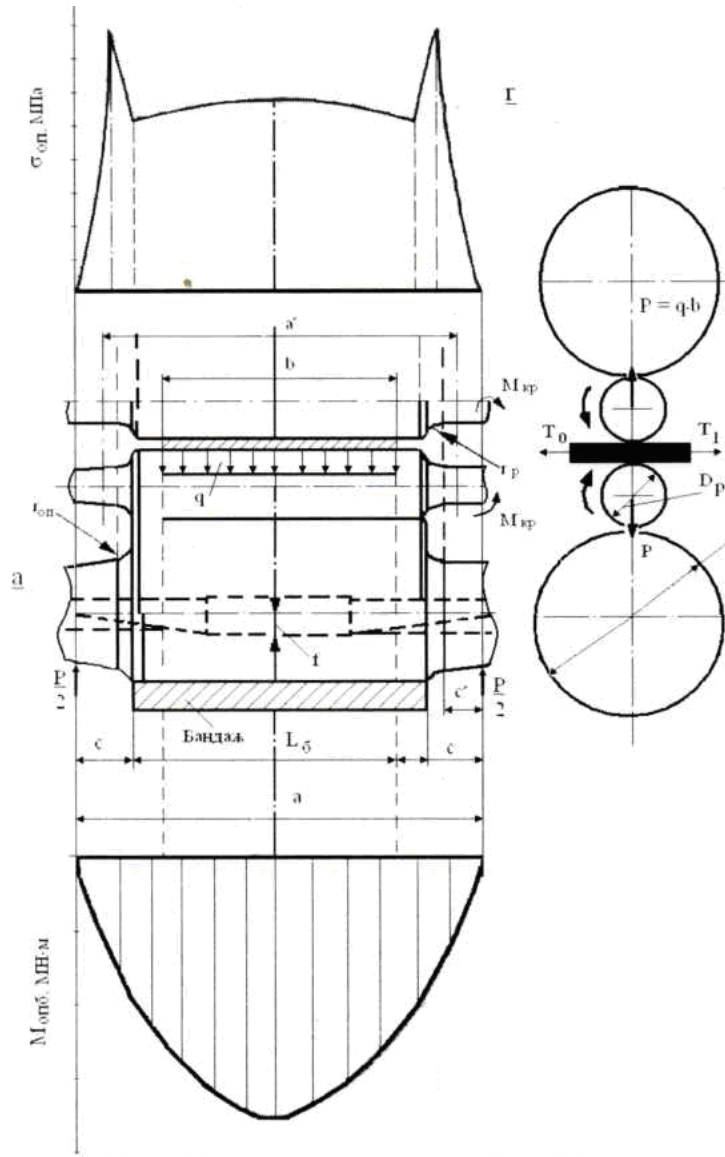


Рисунок 3.1 – Валки до розрахунку чотирьохвалкового станa [16]

Опорні валки мають конічні шийки, тому розраховуємо за аналогією з робочими валками:

$$D_{BO \min} = 1370 - 0,060 \cdot 1370 = 1288 \text{ мм};$$

$$L_{BO} = 1760 \text{ мм}; l_{шo} = 1695 \text{ мм}; d_{шo} = 734 \text{ мм}; r = 130 \text{ мм}.$$

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{l_{uo}}{2} = \frac{1695}{2} = 848 \text{ мм}; \\ c' &= c - r = 848 - 130 = 718 \text{ мм}; \\ a &= L_{BO} + 2 \frac{l_{uo}}{2} = 1760 + 1695 = 3455 \text{ мм}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Визначаємо розподіл зусилля між робочими і опорними валками по формулах:

$$\frac{P_{on}}{P_p} = \left(\frac{D_{on}}{D_p} \right)^4, \quad (3.3)$$

$$P_p = P \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{D_{on}}{D_p} \right)^4}, \quad (3.4)$$

$$P_{on} = P - P_p, \quad (3.5)$$

Визначаємо розподіл зусилля між робочими і опорними валками по формулах (3.3) – (3.5):

$$\left(\frac{D_{on}}{D_p} \right)^4 = \left(\frac{1370}{470} \right)^4 = 72,2;$$

$$P_p = 21,6 \cdot \frac{1}{1 + 72,2} = 0,3 \text{ МН};$$

$$P_{on} = 21,6 - 0,3 = 21,3 \text{ МН}.$$

Таким чином, робочі валки сприймають тільки $\frac{0,3}{21,6} \cdot 100 = 1,4\%$ від загального тиску на валки при прокатці.

Еквівалентна сила вигину бочки робочого валка:

$$P_{zp} = \sqrt{300^2 + 300^2} = 424 \text{ кН}.$$

Напруга робочого валка вигину:

$$M_p = \frac{P_p}{4} \left(a' - \frac{b}{2} \right), \quad (3.6)$$

Максимальна напруга вигину посередині бочки валка:

$$\sigma_p = \frac{M_p}{0,1 D_{BP \min}^3}, \quad (3.7)$$

Напруга крутіння в шийці приводного валка:

$$\tau_p = \frac{M_{kp}}{0,2 D_{BP \min}^3}, \quad (3.8)$$

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

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{bp}^2 + 3 \cdot \tau_{bp}^2}, \quad (3.9)$$

Визначимо максимальний згинальний момент посередині бочки по формулі (3.6):

$$M_p = \frac{0,3}{4} \cdot \left(2,53 - \frac{1,3}{2} \right) = 0,141 \text{ MN} \cdot \text{m}.$$

Визначимо максимальна напруга вигину з виразу (3.7):

$$\sigma_p = \frac{0,141}{0,1 \cdot 0,45^3} = 15,5 \text{ H} / \text{мм}^2.$$

Напруга крутіння в шийці приводного валка визначимо по формулі (3.8):

$$\tau_p = \frac{M_{кр}}{0,2D_{БР \min}^3},$$

$$\tau_{БР} = \frac{0,113}{0,2 \cdot 0,45^3} = 6,2 \text{ Н / мм}^2;$$

Еквівалентна напруга по формулі (3.9):

$$\sigma_a = \sqrt{15,5^2 + 3 \cdot 6,2^2} = 18,8 \text{ Н / мм}^2.$$

Напруга в шийці робочого валка вигину:

$$\sigma_{рви} = \frac{P_{рви} l_{рви}}{0,4d_{рви}^3}, \quad (3.10)$$

Напруга крутіння в шийці робочого валка:

$$\tau_{рви} = \frac{M_{кр} \psi}{0,2d_{рви}^3}, \quad (3.11)$$

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

$$n_{рб} = \frac{\sigma_6}{\sigma_{e\delta}}, \quad (3.12)$$

Напруга в шийці робочого валка вигину знаходимо з виразу (3.10):

$$\sigma_{pm} = \frac{0,3 \cdot 0,85}{0,4 \cdot 0,26^3} = 36H / \text{мм}^2.$$

Напруги крутіння в шийці валка по формулі (3.11):

$$\tau_{pm} = \frac{0,115 \cdot 0,32}{0,2 \cdot 0,23^3} = 15H / \text{мм}^2.$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_e = \sqrt{36^2 + 3 \cdot 15^2} = 44H / \text{мм}^2.$$

Запас міцності бочки й шийки робочого валка з вираження (3.12):

$$n_{pm} = \frac{750}{44} = 17 \gg [n] = 5.$$

Опорні валки розраховуємо на міцність тільки по напругах вигину.

Момент і напруга вигину по середині бочки по:

$$M_{onB} = \frac{P_{on}}{4} \left(a - \frac{b}{2} \right), \quad (3.13)$$

$$\sigma_{onB} = \frac{M_{onB}}{0,1D_{onB \min}^3}, \quad (3.14)$$

Напруга в шийці: у перетині 2 - 2 по:

$$\sigma_{onш2} = \frac{P_{on} \cdot l_{uon}}{0,4(d_{uon} + r_{on})^3}, \quad (3.15)$$

у перетині 1 - 1:

$$\sigma_{опш1} = \frac{P_{он2} \left(\frac{l_{уон}}{2} - r \right) \psi}{0,1 d_{уон}^3}, \quad (3.16)$$

Момент і напруга вигину по середині бочки визначаємо з формул (3.13) – (3.16):

$$M_{онБ} = \frac{21,3}{4} \left(3,45 - \frac{1,3}{2} \right) = 15 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_{онБ} = \frac{15}{0,1 \cdot 1,28^3} = 72 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Напруга в шийці:

Перетин 2 - 2:

$$\sigma_{опш2} = \frac{21,3 \cdot 1,69}{0,4(0,73 + 0,13)^3} = 141 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Перетин 1 - 1:

$$\sigma_{опш1} = \frac{\frac{21,3}{2} \left(\frac{1,69}{2} - 0,13 \right) \cdot 0,32}{0,1 \cdot 0,73^3} = 62 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Запас міцності шийки опорного валка визначаємо по перетині 2 - 2:

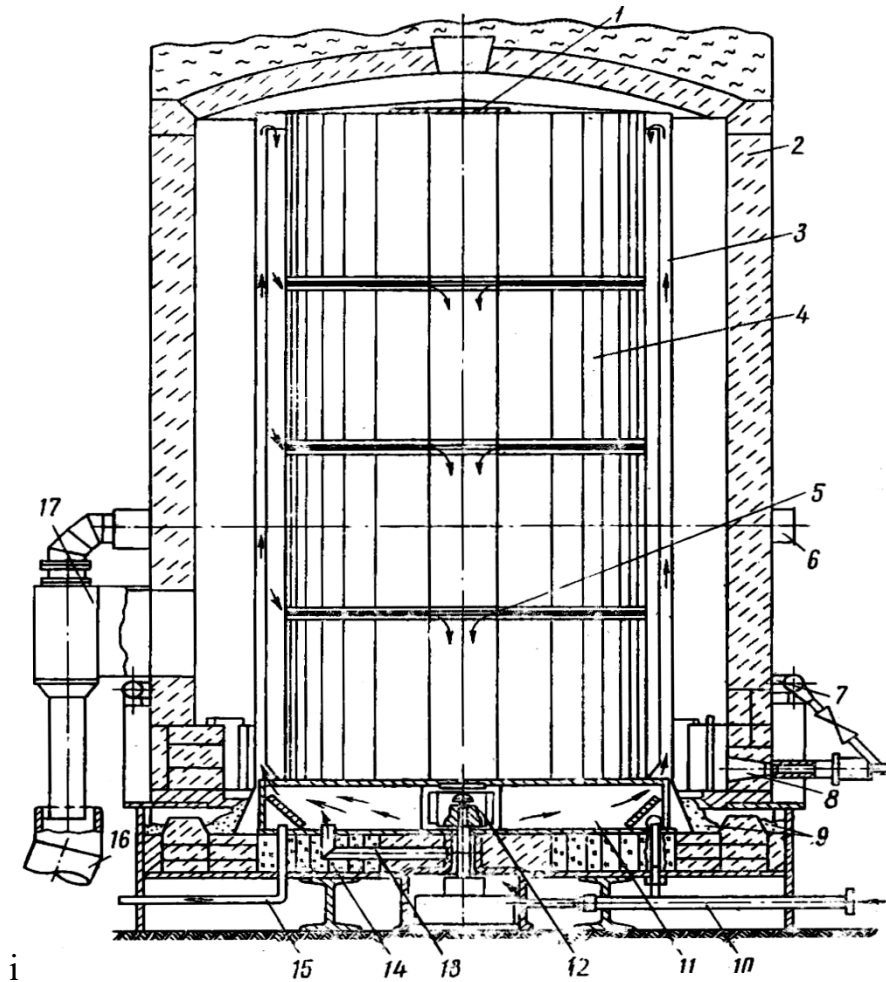
$$n_{опш} = \frac{\sigma_{в}}{\sigma_{опш1}} = \frac{750}{141} = 5,3 > [n] = 5.$$

3.2 Характеристика термічних печей

Газові ковпакові печі опалюються природним газом. У якості паливоспалюючих пристроїв встановлено 8 інжекційно – атмосферних пальників, розташованих тангенціально в один ярус у нижній частині нагрівального ковпака. Продукти згоряння з-під нагрівального ковпака по двом димовідвідним трубам, обладнаним повітряними ежекторами, віддаляються в систему боровів і далі на димар. Повітря на ежектори подається від вентиляційної станції цеху з тиском у колекторі 300-400 мм вод.ст. Між димовідвідними трубами нагрівального ковпака й димоприймальними патрубками боровів є розрив, що забезпечує незалежність тиску під нагрівальним ковпаком від розрідження в димопровідній системі. Для зменшення підсмоктування повітря з навколишнього середовища в димопровідну систему на прийомних патрубках стендів передбачені відкидні кришки, які повинні бути закриті при відсутності на стенді працюючого нагрівального ковпака. Загальний вид газової одностопної ковпакової печі показаний на рисунку 3.1.

Технічна характеристика газової ковпакової печі:

Максимальна витрата газу на один ковпак, м ³ /год	62 - 68	
Максимальна витрата газу на один пальник, м ³ /год	8,4	
Максимальна витрата повітря для двох ежекторів, м ³ /год	400	
Теплотворна здатність природного газу, ккал	8000	
МДЖ		32
Тиск захисного газу перед печами, мм вод.ст	40	
Тиск природного газу, атм		0,8
Загальна кількість димових газів після ежекторів, м ³ /год		1300
Максимальна кількість продуктів згоряння, м ³ /год	900	



1 - кришка; 2 - нагрівальний ковпак; 3 - подвійний муфель; 4 - стопа рулонів; 5 - конвекторна прокладка; 6 - повітряний колектор; 7 - газовий колектор; 8 - газовий інжекційний пальник; 9 - піщаний затвор; 10 - труба для подачі захисного газу; 11 - направляючий апарат; 12 - вентилятор; 13 - байпас; 14 - стенд; 15 - труба для виходу захисного газу; 16 - димохід; 17 - ежектор

Рисунок 3.2 – Одностопна ковпакова піч для відпалу рулонів

Розміри ковпака:

Габаритна висота, мм

блоки №№ 2 - 6, 15 - 16

6310

блоки №№ 7 - 12

6145

Зовнішній діаметр, мм

3082

Внутрішній діаметр, мм

2590

Загальна вага ковпака (залежно від застосованого вогнетриву), т:

На блоках №№ 2 - 6, 15, 19	15,36
На блоках №№ 7 - 12, 17 - 18	22
На блоці № 16	25

Розміри стенда:

Діаметр, мм	3100
Висота, мм	300
Загальна вага, т	10,1

Діаметр крильчатки вентилятора, мм:

блоки №№ 2 - 6, 15, 19	810
блоки №№ 7 - 12, 16 - 18	680,720
Потужність двигуна, кВт	14
Число оборотів двигуна, об./хв.	1460
Повний тиск стендового вентилятора при 20°C, мм вод.ст.	140 - 50
Витрати захисного газу на один стенд, м ³ /год	6 - 8
Витрати води на охолодження двигуна, м ³ /год	2 - 2,5

Муфель, виготовлений з жаростійкої сталі, забезпечує герметичність садки рулонів і тим самим захищає метал від впливу окислювання. Між рулонами й на опорну плиту напрямного апарата укладають конвекторні кільця, що забезпечують інтенсивну теплопередачу між захисним газом і торцями рулонів. Зверху стопа рулонів закривається спеціальною кришкою.

Зовнішній діаметр кілець, мм	1950
Внутрішній діаметр кілець, мм	675
Товщина кілець, мм	50

Вимір і регулювання температур у системі печі й садки виробляється за допомогою стаціонарної хромель-алюмелевої термопари, електронного потенціометра типу ФШЛ-502. Термопара для регулювання температури металу (стендова термопара) установлена в напрямному апараті. Робочий

спай її виводиться до рівня нижнього конвекторного кільця. Термопара за допомогою компенсаційного проведення приєднується до одному з електронних потенціометрів (дванадцятиточечні прилади із прив'язкою до стендів), установлених на щитах у приміщеннях КРП термічного відділення. Регулювання температури в системі печі й садки здійснюється двохпозиційним регулятором зміни подачі газу на пальники по сигналу стендової термопари.

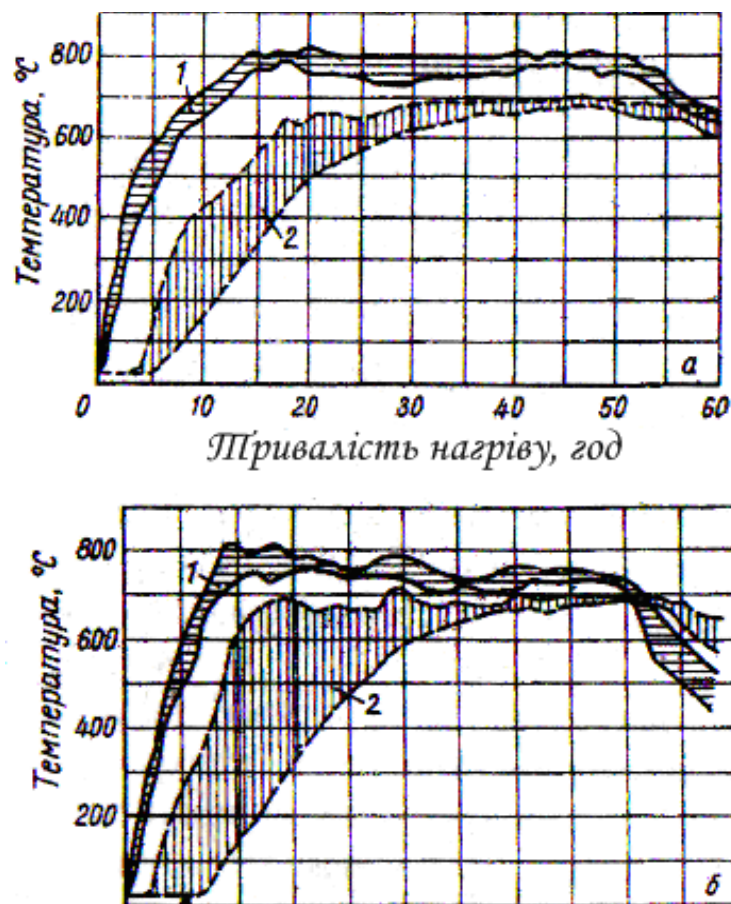
3.3 Режими відпалу.

Рекристалізаційний відпал холоднокатаної сталі проводять для одержання однорідної структури й необхідних ГОСТом механічних властивостей або для відновлення пластичності, необхідної при наступній холодній прокатці на більш тонкий розмір. Температуру відпалу залежно від марки сталі, товщини листа й способу обробки (в листах або в рулонах) вибирають у межах від 600 до 710°C. Швидкість нагрівання рулонів, при масі садки 25 - 40 т в одностопних газових печах, досягає в середньому 25 - 45 град/год.

У таких умовах період нагрівання дуже великий. Більша його тривалість пов'язана з відставанням нагрівання центра стопи (або середньої частини товщини рулону) у порівнянні з поверхнею. Можливість прискорення нагрівання обмежена виникненням великого перепаду температур по обсязі стопи або по товщині рулону (рис. 3.2).

При встановленні температури відпалу на верхній межі (700 - 710 °C) нагрівання відбувається швидше. Однак при цьому збільшується перепад температур де потрібна додаткова витримка, щоб процес рекристалізації міг здійснитися в найбільш відстаючій по нагріванню центральній частині садки. Однак поверхня садки при цьому буде перебувати тривалий час під дією високої температури. Це може привести до крупнозернистості й, як наслідок,

до погіршення якості поверхні металу при холодному штампуванні - появи «апельсинової кірки». Зі зниженням температури зменшується швидкість нагрівання, завдяки чому знижується перепад температур і зменшується тривалість витримки, необхідної для завершення рекристалізації в центрі садки. Повного вирівнювання температури не відбувається, і в цьому немає необхідності. Тривалість витримки встановлюють із таким розрахунком, щоб процес рекристалізації завершився по всій садці, а рівномірність властивостей металу, обумовлена фактично наявним перепадом температур, не виходила за межі норм технічних вимог.



а) - звичайне нагрівання; б) - форсоване нагрівання: 1 - температура печі; 2 - температура металу [24]

Рисунок 3.3 – Графіки зміни температури печі й металу:

При відпалюванні нестаріючої сталі марки 08Ю варто встановлювати температуру нагрівання на верхній межі й давати порівняно більшу

тривалість витримки. Це необхідно у зв'язку із впливом алюмінію, що у результаті прискореного охолодження після прокатки залишається у твердому розчині й тому, по-перше, трохи підвищує критичні крапки A_{c1} і, по-друге, сповільнює процес рекристалізації.

Вимір дійсної температури металу за допомогою гнучких технологічних термопар при експлуатації ковпакових печей важко, однак завдяки тому, що для таких печей характерна відносна стабільність теплових потоків і розподілу температури по зонах, можна використовувати непрямий метод. Із цією метою в процесі налагодження печі досвідченим шляхом установлюють взаємозв'язок температур у місцях непрямих вимірів і в коші металу. Так, температуру відпалу низько вуглецевих сталей установлюють по стендовій термопарі рівної $710 - 730^{\circ}\text{C}$, і цьому відповідає температура металу $690 - 710^{\circ}\text{C}$. Нижня межа: - для штаб товщиною $0,5 - 1,2$ мм, верхній - для $1,3 - 2,0$, мм.

Тепловий режим печі контролюють по трьох періодах нагрівання:

- 1) підйом температури до заданої по ковпакової (зональної) термопарі 870°C .;
- 2) автоматичне регулювання температури по зональній термопарі - заданої по стендовій термопарі ($690 - 710^{\circ}\text{C}$);
- 3) автоматичне регулювання температури по стендовій термопарі.

До сталей, призначених для досить глибокої витяжки (група ДГ), пред'являються більше високі вимоги по однорідності властивостей. У таблиці 4.1 наведені режими відпалу (температура відпалу $690 - 710^{\circ}\text{C}$) холоднокатаних рулонів низьковуглецевої сталі в одностопних ковпакових печах з масою садки $30 - 40$ г, прийняті на ВАТ МК "Запоріжсталь". При відпалюванні нестаріючих сталей тривалість витримки встановлюють у середньому на $4 - 6$ годин більше.

Таблиця 3.1 – Тривалість нагрівання, витримки й охолодження при відпалі холоднокатаних рулонів в одностопних ковпакових печах.

Марки сталі	Група витяжки	Ширина штаби, мм	Маса рулону, т	Тривалість, год		
				нагрівання	витримка	охладження
8пс; 10кп 20кп; 10пс;20пс	ДГ	1500 - 1360	15,0 - 13,0	17	12	44
			12,9 - 9,0	17	10	41
			8,9 - 7,0	14	8	34
		1350 - 1200	14,0 - 11,5	17	11	42
			11,4-9,0	15	10	38
			8,9 - 6,0	13	7	32
08кп;08пс ; 10кп;15пс ; 20кп;20пс ;	Г,Н	1500 - 1360	15,0 - 13,0	17	10	44
			12,9 - 9,0	15	9	42
			8,9 - 7,0	13	7	36
		1350 - 1200	14,0 - 11,5	17	9	42
			11,4 - 9,0	15	8	40
			2,9 - 6,0	12	6	34
08Ю	ОСВ, СВ	1500 - 1250	15,0 - 12,5	18	18	48
			12,4 - 9,0	18	16	46
			8,9 - 5,0	18	16	42
		1240 - 1000	12,5 - 9,5	18	16	47
			9,4 - 7,5	15	15	45
			7,4 - 5,0	13	15	41

Припустимий кінцевий перепад температури по обсязі рулону встановлюється залежно від вимог, пропонованих до якості металу. Так, для авто-листа відповідального призначення групи ДГ допустимо перепад не більше 20-30°C, у той же час для рядової сталі й декапіра він може досягати 80°C. З обліком цього легко зрозуміти, чому тривалість витримки за інших рівних умов для сталі групи ДГ трохи більше, ніж для сталей груп Г и Н (табл. 3.2). Гарні результати у випадку відпалу рулонів з нестаріючих сталей можуть бути також отримані при режимі зі східчастим нагріванням. Такий режим дозволяє скоротити на кілька годин тривалість відпалу, а головне, забезпечує одержання більше однорідних властивостей сталі.

Таблиця 3.2 – Дефекти при термічній обробці, і способи запобігання.

Причини браку (дефектів)	Заходи щодо усунення
Незадовільні механічні й технологічні властивості	
Недотримання встановленого режиму відпалу або неправильні показання приладів. Проведення відпалу при не працюючим циркуляційному вентиляторі.	Ретельне виконання вимог технології відпалу й своєчасна перевірка приладів. Робити відпал тільки при справному устаткуванні.
Відкладення сажі на поверхні відпаленого металу	
Підвищення змісту CO у HN_x -газі Наявність емульсії на поверхні.	Стежити за газощільністю стенда, якісно очищати штабу від емульсії перед змотуванням на стані.
Кольори мінливості	
Нещільність піскового затвора. Швидкий підйом ковпака після нагрівання. Не просушений стенд. Зняття муфеля при температурі металу більше 160 °C.	Збільшити висоту піскового затвора. Строго дотримувати технології підйому ковпака зі стенда. Використовувати просушені стенди. Дотримувати заданої температури розпакування.
Злам по крайці	
Зім'ята крайка.	Не допускати травмування крайок.
Злипання штаб і рулонів у стопі при відпалі	
Висока температура відпалу. Недостатня шорсткість штаб, після холодної прокатки. Великий натяг при змотуванні.	Дотримувати температурного режиму. Застосовувати валки з насіченою поверхнею. Дотримувати встановленого натягу.
Знеуглецювання поверхні легованого металу	
Невідповідність складу захисної атмосфери даної марки стали.	Строго контролювати сталість складу захисної атмосфери.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Загальні відомості щодо безпеки на металургійному підприємстві

У чорній металургії та сталеливарній промисловості використовується кілька типів печей. Для отримання чавуну переважно використовуються домни. Для отримання сталі можуть використовуватись печі трьох типів: мартенівська піч, кисневий конвертер та електродугова піч.

Від печі може виходити яскраве свічення, здатне пошкодити очі, якщо не використовуються відповідні засоби захисту зору. Фізичні дії, такі як кладка цегли печі або вплив вібрації на руки та плечі при використанні пневматичного інструменту та шліфувальних верстатів, можуть створювати проблеми ергономічного характеру.

Тільки уповноважений персонал повинен мати доступ до печі.

Повинна бути встановлена належна загальна та місцева витяжна вентиляція із вбудованими пилом та димо збірниками [19].

Ефективність та адекватність загальних та місцевих систем витяжної вентиляції у плані видалення диму та газів із зони печі має регулярно перевірятися. Пилогбірні мішки повинні замінюватись згідно з регламентом.

Уповноваженим працівникам, які займаються візуальним інспектуванням печі, повинні видаватися захисні окуляри або щити проти ультрафіолетового (УФ) та/або інфрачервоного випромінювання.

Необхідна наявність детекторів, які забезпечують раннє попередження у разі підвищення концентрації небезпечних газів.

Завжди повинні бути наявні нагнітальні автономні дихальні прилади, що дозволяють оперативно провести рятувальні роботи у разі накопичення небезпечних газів. Дихальні апарати повинні регулярно перевірятися і

проходити техобслуговування, і використовуватися лише підготовленим персоналом.

Люди, які працюють біля печі та в прилеглій зоні, повинні забезпечуватись відповідними ЗІЗ для захисту проти опіків розплавленим металом, шуму, фізичних та хімічних джерел небезпеки. ЗІЗ повинні відповідати стандартам захисту від розплавленого металу для ливарників та інших працівників, які зазнають його впливу. Конкретні ЗІЗ повинні включати, серед іншого: (а) куртка та штани, стійкі до потрапляння розплавленого металу; (б) лицьовий захисний щиток або вентилязовані захисні окуляри; (в) рукавички, стійкі до потрапляння розплавленого металу; (г) спецвзуття з теплоізоляцією; (д) обладнання для захисту органів дихання; (е) захисна каска; (ж) захист органу слуху; та (з) захист очей.

4.2. Запобігання пожежам та вибухам [21].

Пожежі та вибухи в печах часто трапляються внаслідок потрапляння води на розплавлений метал. Вода може бути присутньою у вторинній сировині або в сирих ливарних формах, надходити в результаті витоків в охолоджувальній системі печі або в самій будівлі.

Пожежі та вибухи у печах можуть також стати результатом займання летких матеріалів та палива.

Найбільш небезпечні моменти – процедури пуску та зупинки печі. Газоопалювальні печі повинні обладнатися запобіжними пристроями, що унеможливають накопичення невикористаного палива, яке може спалахнути. Технологічні трубопроводи в газоопалювальних або мазутних печах повинні забезпечуватись автоматичним запірним механізмом.

Оператори повинні мати відповідну підготовку щодо систем безпечної роботи. Будівля повинна бути пожежостійкою, обладнана вбудованими або,

де це доречно, включеними в технологічний процес автоматичними системами пожежогасіння.

Необхідно виконати оцінку ризиків для передбачуваного розподілу отруйних хімічних речовин, джерелами яких є непічні процеси та продукти згоряння, та передбачуваний вплив вибуху на навколишній простір.

Повинні проводитися регулярні перевірки безпеки для того, щоб переконатися, що небезпечні фактори чітко визначені та вживаються адекватні заходи контролю ризиків.

Вогнетривка кераміка (наприклад, металопріймачі, проводки, ковші) та інструменти повинні підігріватися та висушуватись перед використанням, щоб мінімізувати ризик вибуху. Вогнетривкі футерування повинні регулярно перевірятися для визначення зносу.

Печі не можна експлуатувати понад регламентований термін.

Розігрів печей

Перед запаленням печі необхідно проінспектувати оснастку та переконатися, що вона знаходиться у робочому стані. Особливу увагу слід приділити налагодженню органів керування піччю, системам постачання повітрям, димовим трубам, податчикам палива та паливним трубопроводам.

Ручні пальники, що використовуються для запалювання невеликих печей, повинні мати досить довгі рукоятки, а оператор повинен використовувати відповідний запобіжний щит та теплоізолюючі рукавички для запобігання опікам.

Необхідно створити невелику тягу через піддувало для підтримки горіння в той момент, коли включена подача палива і відбувається розпалювання

Оператори печі повинні уважно стежити за подачею палива, можливим витіканням палива та продовженням горіння.

Пил та волокна

При зупинці печі обслуговування слід проявити особливу обережність про те, щоб уникнути вдихання пилу чи волокон, що утворюються з ізоляційного матеріалу Частина II. Безпечні операції виробництва чавуну і стали 91 ріал. Пил і димозбірники повинні становити конструктивну частину печі

Профілактика отруєння чадним газом

Особливі застереження необхідно приймати для захисту працівників від впливу газів з високою концентрацією окису вуглецю, наприклад доменного газу та коксового газу.

Роботодавець, у співпраці з працівниками та їх представниками, повинен провести аналіз небезпечних факторів та ризиків, щоб визначити зони, в яких може відбуватися витік та накопичення газів, що містять окис вуглецю, особливо в зонах, що використовують нові технології.

Працівники, які можуть зазнавати впливу цих газів, повинні отримувати відповідну підготовку, що дозволяє їм розпізнавати симптоми отруєння окисом вуглецю.

Місця, де окис вуглецю може збиратися таким чином, що згодом потраплятиме звідти до робочих зон, повинні бути обладнані автоматичними детекторами окису вуглецю та адекватними засобами раннього попередження про небезпечні викиди газу.

Потрібно проводити постійний моніторинг рівнів впливу небезпечних факторів. Працівники, які відвідують зони з загрозою газової небезпеки, повинні мати портативні газові аналізатори. Працівники, які відвідують зони, де існує безпосередня небезпека для життя або здоров'я (НОЖЗ), повинні також мати при собі автономні дихальні прилади (АДП).

Автономні дихальні прилади та реанімаційне обладнання повинні бути завжди наготові для використання командою рятувальників, і оператори повинні проходити інструктаж з користування ними.

На регулярній основі мають проводити навчання з рятувальних заходів у зонах газової небезпеки.

Запобігання паровим вибухам

Необхідно запобігати контакту розплавленого шлаку (який являє собою шкідливі домішки, видалену з розплаву за допомогою вапняку) та розплавленого металу з водою, оскільки це викличе паровий вибух. Безпека та охорона праці в чорній металургії та сталеливарній промисловості

Обладнання та трубопроводи для очищення газів, а також трубопроводи для подачі газу в систему підігріву повітря та шлаковиків мають бути сконструйовані таким чином, щоб їх можна було вентилювати та чистити.

Поводження з розплавленим металом, окалиною та шлаком

Опис небезпечних факторів

На багатьох етапах виробництва стали можуть статися опіки: від розплавленого металу чи шлаку – перед піччю під час випуску плавки; від спелів, сплесків або викидів рідкого чавуну з ковшів або конвертерів під час його обробки, розливання або транспортування; а також від контакту з гарячим металом при отриманні кінцевого продукту.

Літки повинні регулярно перевірятися на предмет пошкоджень та накопичення корунду, з метою запобігти розплескуванню розплавленого металу.

Оцінка ризиків

Імовірність травм у поводженні з розплавленим металом має бути оцінена усім стадіях технологічного процесу. Сюди входять цілісність, стійкість та режим експлуатації печей та транспортних ковшів, характер та режим експлуатації транспортних засобів/кранового транспорту, а також система розливання розплавленого металу, що застосовується на даному виробництві.

Стратегії контролю

Персонал, який працює з розплавленим металом, повинен знати правила та застереження, необхідні для забезпечення безпеки та здоров'я, включаючи використання відповідних ЗІЗ.

Завершення підготовки необхідно документувати, а саму підготовку повторювати за необхідності.

Особи без підготовки не повинні залучатись на роботу за спеціальностями, пов'язаними з транспортом розплавленого металу.

Поблизу місць розливання повинні знаходитися тільки необхідні в цьому процесі працівники.

Ливарні форми та розливні пристрої не повинні бути сирими, і необхідно виключити всі можливості потрапляння води в розплав, оскільки це спричинить вибух.

Якщо існує можливість розплескування розплавленого металу, доступ до робочої зони повинен бути перекритий до початку його транспортування.

Технічний нагляд за ковшами

Ковші та їх опорні, фіксуючі та перекидні механізми повинні регулярно перевірятися компетентною особою.

Щоразу перед наповненням, розливанням або транспортуванням ковші для шлаку та їх допоміжні пристрої повинні піддаватися зовнішньому огляду.

Результати перевірок, включаючи ремонт тріщин та інших дефектів, слід документувати.

Рекомендований дрібний ремонт та виправлення необхідно планувати та здійснювати вчасно.

Повинна діяти система, що забезпечує внесення виправлень та перевірку завершення таких робіт.

4.3 Засоби індивідуального захисту

Працівники повинні отримувати та використовувати відповідні ЗІЗ, такі як каски, рукавички, захисні фартухи та чоботи. Там, де це доречно,

працівники повинні отримувати та використовувати стійкий до потрапляння розплавленого металу спецодяг.

Перша допомогаю З травмами, викликаними розплавленим металом, окалиною, шлаком чи впливом лужної пилу, потрібно негайно звертатися по медичну допомогу.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасний стан технологічного процесу виробництва холоднокатаної штаби в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Встановлено, що стан має ряд недоліків пов'язаних з низькою продуктивністю стану та неякісним змотуванням штаб в рулони.:

- конструкція змотувачів застаріла і не забезпечує якісної змотування тонкої штаби.

- змотувачі не дозволяють регулювати швидкість в процесі змотування для регулювання температури по довжині штаби.

- великий фізичний знос обладнання моталок та енерговитрати.

2. У якості заходу вдосконалення технологічних особливостей рекомендовано заміна існуючих моталок на сучасні моталки потужністю 1230 кВт фірми «Siemens VAI»:

- надійне захоплення штаби тягнучими, формуючими роликками і барабаном на швидкостях до 15 м / с

- Надійна «прив'язка» штаби до барабана, час до виникнення натягу зменшується на 70%.

- Змотування рулонів з мінімальною телескопічністю (не більше 20 мм).

- Змотування рулонів з мінімальними зазорами між витками (щільність з мотки не нижче 0,98).

- Змотування рулонів з мінімальними ушкодженнями поверхні штаби.

- Мінімальні динамічні навантаження

- Надійність і довговічність основних вузлів змотувачів.

- Зручність обслуговування і ремонту. Що дозволить зменшити енерговитрати при прокатці та якість рулонів.

- 3. За результатів енергосилових параметрів штаби 0,8 1030 мм на реверсивному стані 1680, встановлено, що максимальне зусилля склало: $P = 21,8$ МН; потужність двигуна знаходиться на рівні 1132 кВт \rightarrow 2545 кВт. Показано, що можливе проведення технологічного процесу прокатування штаби. В результаті впровадження даного технологічного процесу збільшується продуктивність стана на 20 тис.т./рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату Запоріжжя, ЗДІА. 2010. 320 с.
2. Николаев В.А. Холодная прокатка полос. Запорожье, ЗНТУ.2011. 126 с.
3. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Технологія виробництва сортового та листового прокату. Запоріжжя: видавництво ЗДІА, 2000. Ч. II. 220 с.
4. Николаев В.А., Путноки А.Ю. Прокатка широкополосной стали . К.: Освіта України, 2009. 268 с.
5. Васильев Я.Д., Сафьян. А.М. Производство полосовой и листовой стали.К.: Вища школа, 1976. 192 с.
6. Мазур В.Л., Сафьян А.М., Приходько И.Ю. Управлением качеством тонколистового проката. К.: Техника, 1997. 384 с.
7. Шнайдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным рельефом. Л.: Машиностроение.1982. 248 с.
8. Скороходов В.Н., Настич В.П., Чернов П.П.и др. Опыт применения опорных валков со спиральными канавками на стане 1400 холодной прокатки: *Производство проката*, 1999. №10. С.50-54.
9. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков. К.: Техніка, 1992.158с.
10. Николаев В.А. Давление и момент при прокатке полос с вибрационным напряжением. *Изв. вузов. Черная металлургия*, 1971. №6. С. 102 – 105.
11. Николаев В.А., Пименов А.Ф., Скороходов В.Н.и др. Разработка и внедрение режимов поверхностного пластического деформационного упрочнения прокатных валков. *Производство проката*, 1999. №10. С.16-19.
12. Николаев В.А., Путноки А.Ю. Особенности прокатки полос в неприводных рабочих валках. *Металургическая и горнорудная промышленность*, 2008. №1. С.71-74.

13. Будаква А.А., Коновалов Ю.В., Ткалич К.Н. и др. Профилирование валков листовых станов. К. Техніка. 1986. 190 с.
14. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П.. Тонколистовая прокатка и служба валков. *Металлургия*, 1967. 388 с.
15. Байков Е.В. Исследование на непрерывном стане холодной прокатки продольной разнотолщинности полос. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. №1, 2008. С. 102-105.
16. Байков Е.В. Исследование технологии холодной прокатки полос на непрерывном стане с рассогласованием скоростей валков. *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА, 2007. С. 424-427.*
17. Garber E.A., Nikitin D.I., Shadrinova I.A., Traino A.I. Calculation of the Cold-Rolling Power with Allowance for the Variable Work of Friction along a Deformation Zone . *Russian Metallurgy* . Vol. 2003. No. 4. P. 340-346.
18. Назарова Е.С. Исследование системы оптимального управления натяжением полосы стана холодной прокатки. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Випуск 3, 2012. С. 161-162.
19. Василев Я.Д. Теорія позовжньої прокатки: підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.
20. Панасейко С.П., Тарасов В.К., Павленко Ю.П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье: изд-во ЗГИА, 2002. 56 с.
21. Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основы охраны труда. Львов: Афиша, 2000. 351 с.