

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії, матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Максим ШТОДА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Сучасні технології прокатного виробництва»
за спеціальністю 136 Металургія

на тему «Підвищення точності прокатки на стані тандем 1680»

Керівник роботи

Тетяна КУЛІК

Консультант від
бази практики

Роман ГЛУХОВСЬКИЙ

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

Здобувач

Віктор ПАПАЗОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олександр КУРПЕ

Запоріжжя 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>Гірничо-металургійний факультет</u>
Кафедра	<u>Металургії, матеріалознавства та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Сучасні технології прокатного виробництва</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Максим ШТОДА

«15» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Папазова Віктора Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Підвищення точності прокатки на стані тандем 1680
керівник роботи Кулік Тетяна Олександрівна, канд. техн. наук,

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

затверджені наказом Університету від 29.08.2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література зі спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з підвищення точності холодної прокатки смуг, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПАТ «Запоріжсталь» м. Запоріжжя, результати власних експериментів та досліджень тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) 1. Аналітичний розділ (літературний огляд, недоліки існуючих систем, сучасні тенденції). 2. Технологічний розділ (Структура виробництва ПАТ «Запоріжсталь. Опис обладнання. Склад обладнання. Технологія прокатки. Прокатка на стані Тандем. Відповідність міжнародним стандартам. Обмеження існуючої технології. Рекомендації з модернізації технології прокатки. 3. Розрахунковий розділ (Вибір режимів обтиснень. Розрахунок продуктивності. Розрахунок станини на міцність. Розрахунок валків. Розрахунок натискного пристрою. 4. Охорона праці. 5. Організаційно-економічна частина.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): план розташування обладнання стану тандем 1680, загальні види робочої кліті, складальні креслення валкових вузлів та натискного механізму

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	07-08.01.2024
2	Розділ 1. Теоретичний розділ (аналітико-пошуковий)	25-28.12.2023
3	Розділ 2. Дослідницький розділ (аналітично-розрахунковий)	25-28.12.2023
4	Розділ 3. Технологічний розділ	28.01.2023-02.01.2024
5	Розділ 4. Охорона праці	03-07.01.2024
6	Розділ 5. Економічний розділ	03-07.01.2024
7	Висновки, перелік посилань	07-08.01.2024
8	Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	08-10.01.2024
9	Подання завершеної роботи. Перевірка на відсутність академічного плагіату	10-16.01.2024

Здобувач



(Віктор ПАПАЗОВ)

Керівник роботи



(Тетяна КУЛІК)

РЕФЕРАТ

Розрахунково пояснювальна записка містить сторінок - 79, таблиць - 4, рисунків - 18, формул – 65, джерел – 13.

Об'єкт дослідження – безперервний стан холодної прокатки.

Мета дипломного проекту – вибір обладнання цеху холодної прокатки, прокатного стану продуктивністю 0,7 млн. т на рік і розробка технологічного процесу для виробництва смуги в рулонах товщиною 0,8 мм та шириною 1500 мм. В роботі були розглянуті стани холодної прокатки різної конструкції та продуктивності. Для виробництва заданого прокату був обраний безперервний стан холодної прокатки 1680 Запорізького металургійного комбінату «ЗАПОРІЖСТАЛЬ». Опис його обладнання наведений у пояснювальній записці.

В проекті був використаний комплекс програмних засобів автоматизованого розрахунку, проектуванню та оптимізації технологічних режимів обтиснень. В результаті був обраний оптимальний режим завантаження стану. Також були виконані перевірочні розрахунки елементів робочої кліті стану, що підтвердили працездатність обладнання при реалізації запропонованих режимів прокатки. Були виконані економічні розрахунки, що підтвердили доцільність модернізації. Також були розглянуті заходи з охорони праці щодо цеху холодної прокатки.

БЕЗПЕРЕРВНИЙ ПРОКАТНИЙ СТАН, ХОЛОДНА ПРОКАТКА,
РЕЖИМ ОБТИСНЕНЬ, СИЛА ПРОКАТКИ, МОМЕНТ ПРОКАТКИ,
ПОТУЖНІСТЬ ПРОКАТКИ, ПРОДУКТИВНІСТЬ СТАНУ, СМУГА

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ (СТАН ПИТАННЯ).....	10
2 Удосконалення точності готової продукції на стані холодної прокатки тандем 1680 (науково-дослідна частина).....	13
2.1 Автоматизоване регулювання профілю поперечного перерізу смуги при прокатуванні за допомогою перехрещування валків	13
2.2 Автоматизоване регулювання профілю поперечного перерізу смуги при прокатуванні за допомогою протизгину валків	17
2.3 Автоматизоване регулювання профілю повздовжнього перерізу смуги	19
3 СКЛАД ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА НА 4-КЛІТЬОВОМУ БЕЗПЕРЕРВНОМУ СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ	23
3.1 Склад обладнання цеху холодної прокатки.....	23
3.2 Технологія прокатки	29
3.3 Математична модель процесу холодної прокатки смуг.....	31
3.4 Визначення технологічних режимів та енергосилових параметрів прокатки смуги 0,8×1500 мм	33
3.5 Розрахунок продуктивності стану	40
3.6 Рекомендації з удосконалення процесу прокатки на безперервному стані холодної прокатки 1680.....	42
4 СКЛАД І ОЦІНКА РОБОТОЗДАТНОСТІ ОБЛАДНАННЯ РОБОЧИХ КЛІТІВ СТАНУ тандем 1680.....	45
4.1 Склад та конструкція робочої кліті.....	45
4.2 Інженерні розрахунки станин та валкового вузла робочої кліті	45

4.3 Розрахунок основних вузлів та механізмів.....	60
5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОКАТАНОГО ПРОКАТУ	65
6 ПИТАННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ	72
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76
Додаток А Відбитки наукових публікацій.....	78

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Прокатка з усіх способів обробки металів користується найбільшим поширенням внаслідок безперервності процесу, високої продуктивності та можливості отримання виробів найрізноманітнішої форми та покращеної якості. Прокатні вироби як із сталі, так і з кольорових металів є найбільш економічним продуктом – кінцевим для металургійних підприємств та вихідним у машинобудуванні, будівництві та інших галузях народного господарства.

Постановка проблеми. Стани холодної прокатки повинні в першу чергу характеризуватися підвищеною точністю смуг, що прокочуються, і як можна меншою товщиною прокату. Розв'язання цього завдання вимагатиме здійснення низки заходів, найголовнішими з яких є: підвищення точності обробки валків, особливо опорних, у яких ексцентриситет, незважаючи на їхній великий діаметр, має бути зведений до мінімуму; перехід на напружені конструкції робочих клітей, що виключають вплив пружної деформації станин та натискних механізмів; застосування швидкодіючих гідравлічних регуляторів міжвалкової відстані (товщини), які оснащені індукційними вимірювачами переміщення з точністю до 2 мкм. При створенні нового обладнання для прокатки листів виходять з наступних основних напрямків: збільшення потужності приводів, маси слябів, що прокочуються, і швидкості прокатки; автоматизації управління станами та окремими агрегатами.

На діючих станах, як показала практика досліджень, є часом значні резерви за потужністю двигунів та міцністю механізмів станів, які не використовуються через відсутність необхідних даних для розробки раціональних схем прокатки. Такі схеми повинні

забезпечувати рівномірне завантаження обладнання та високу точність прокатки.

Мета дослідження. Удосконалити технологію процесу холодної прокатки смуг з метою підвищення якості, зокрема знизити повздожню та поперечну різнотовщиність, за рахунок раціональних розподілів обтиснень по клітях неперервного стану.

Задачі дослідження:

– проаналізувати технологічні режими прокатки з метою зниження енергоємності процесу та зниження деформацій, що впливають на форму міжвалкового зазору.

– проаналізувати працездатність обладнання при реалізації запропонованих технологічних обтиснень;

– визначити заходи з регулювання міжвалкового зазору, розробити математичні моделі та встановити залежності з впливу на форму міжвалкового зазору;

– визначити економічну ефективність запропонованих заходів з модернізації.

Об'єкт дослідження – неперервний стан холодної прокатки Тандем 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Предмет дослідження – технологія холодної прокатки смуг з вуглецевих сталей шириною до 1500 мм.

Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності. За допомогою ЕОМ був розрахований раціональний режим обтиснень, визначені швидкісні режими прокатки та енергосилові параметри процесу. Розрахунок продуктивності стану показав, що обраний режим роботи стану забезпечує продуктивність 800 тис. тон на рік. Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність основних елементів конструкції робочої кліті. Встановлені залежності поперечної та повздожньої різнотовщинності від куту перехрещення валків, сили протизгину та дозгину робочих валків. Сформульовані

рекомендації з удосконалення процесу прокатки на стані 1680. Виконані економічні розрахунки, що показали доцільність удосконалення технологічних режимів з річним прибутком 7,71 млн. грн., але з економією витрат дефіцитних природних ресурсів.

1 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ (СТАН ПИТАННЯ)

Основними способами виробництва холоднокатаних стрічок і смуг є прокатка на безперервних (3, 4, 5 і 6-клітьових) (рис. 1.1 а), реверсивних (див. рис. 1.1 б) або багатовалкових станах [1...3].

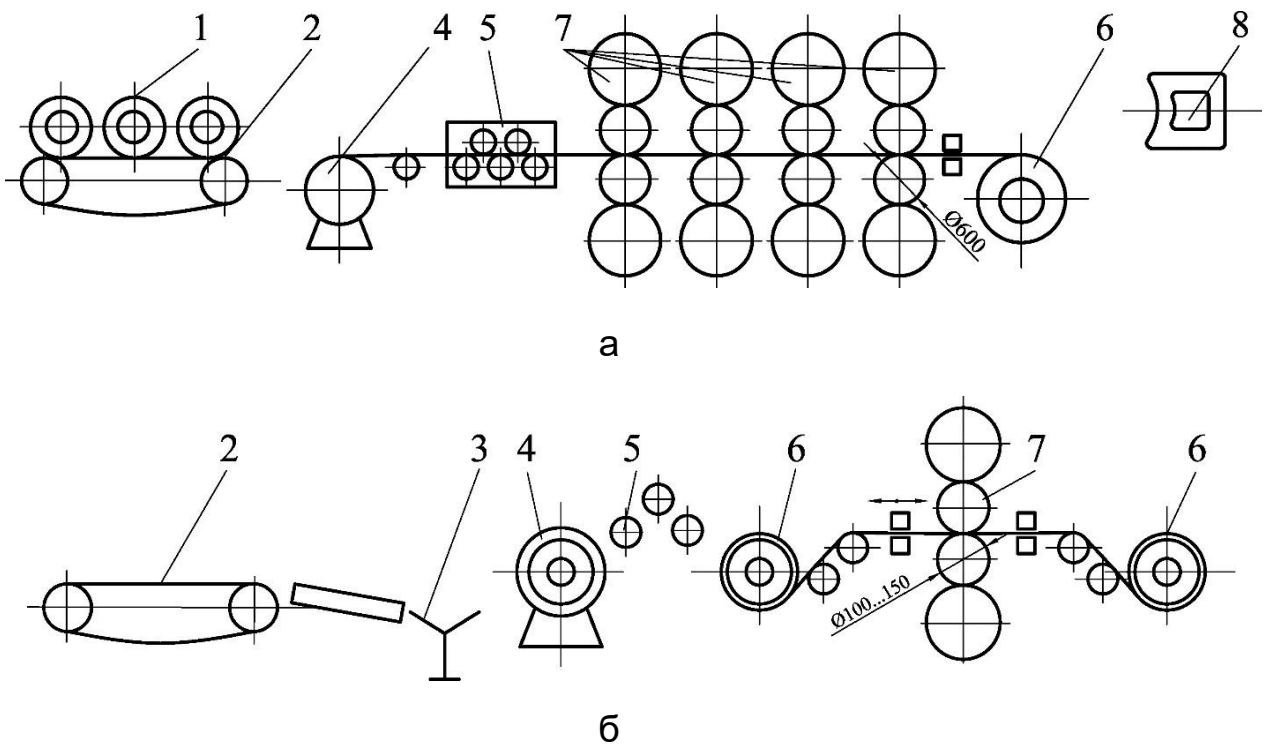


Рис. 1.1 – Технологічні схеми процесів промислового виробництва холоднокатаних стрічок і смуг: безперервного (а) та реверсивного станів кварто (б): 1 - рулон, 2 - транспортер, 3 - підйомний стіл, 4 - розмотувач, 5 - правильно-тягнучі ролики, 6 - моталки, 7 - робоча кліть, 8 - захльостувач

На безперервному стані кліті розташовані можливо ближче одна до одної. Робочі валки кожної кліті забезпечені приводом від

електродвигуна (одного або двох) постійного струму потужністю 3...5 тис. кВт з регулюванням швидкості в широких межах через шестерню кліть, або без неї, і універсальні шпинделі. Рулони протруєної смуги встановлюють за допомогою мостового крана або електрокара (з захопленням важеля) на транспортер і по черзі подають їх до розмотувача 4 (див. рис. 1.1, а). Валки всіх клітей обертаються із так званою заправною швидкістю (0,5...1 м/с) [4...7].

Передній кінець смуги на ролоні відгинається (магнітним або скребковим відгиначем), через проводковий (роликовий або плоский) стіл подається послідовно у валки кожної кліті і заправляється в щілину барабана моталки 6. При прокатуванні тонкої смуги (до 0,5 мм) кінець її в щілину барабана не заправляється, а намотується на барабан (перші 2...3 витки) за допомогою ремінного заправника. З метою автоматичного регулювання товщини смуги встановлені ролики для вимірювання натягнення смуги та летучі мікрометри (товщиноміри за першою та останньою клітцями). Між останньою кліттю та моталкою передбачений напрямний ролик.

Після заправки переднього кінця смуги на барабан моталки швидкість валків всіх клітей збільшується до максимальної робочої швидкості. Процес прокатки рулону триває 5...10 хвилин залежно від маси рулону. Так, при масі рулону 25 т, товщині смуги 0,25 мм, ширині 1000 мм та швидкості прокатки (в останній кліті) 20 м/с машинний час прокатки складе близько 10 хв (при довжині смуги в ролоні близько 12 000 м).

Перед закінченням прокатки швидкість валків зменшується: рулон прокатої смуги стикається з барабана моталки і прямує на відпал або електролітичне очищення.

Для зменшення тиску металу на валки при прокатці та можливості «викочування» тонкої смуги у валках відносно великого

діаметра в процесі прокатки на смугу подається мастило (при прокатці жерсті – пальмова олія або її замінники; при прокатуванні товстіших смуг – масляна емульсія).

Як правило, прокатка смуги на безперервному стані здійснюється за один прохід. У деяких випадках (наприклад, при прокатці кремнистої трансформаторної сталі) для отримання необхідної товщини готової смуги та її властивостей (магнітних, механічних) після першого проходу рулон піддають відпалу і потім вдруге прокатують на цьому ж стані [8...9].

Основна кількість холодного прокату (80...85%) виготовляється з низьковуглецевої сталі, 10...15% - із середньо- та високо – вуглецевої сталі, близько 5...7% - із низько- та середньолегованої та 1...1,5% - із високолегованих сталей.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТОЧНОСТІ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ НА СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТАНДЕМ 1680 (НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА)

2.1 Автоматизоване регулювання профілю поперечного перерізу смуги при прокатуванні за допомогою перехрещування валків

Одним із шляхів підвищення якості тонколистового металопрокату є застосування на станах холодної прокатки способу регулювання профілю смуги шляхом перехрещування осей робочих та (або) опорних валків.

Регулююча дія методу полягає в тому, що при зміні взаємної орієнтації валків шляхом їх взаємного перехрещення міжвалковий зазор посередині довжини бочок залишається незмінним, а до країв нелінійно збільшується. Зміна кута перехрещування в процесі прокатки дозволяє цілеспрямовано змінювати профіль міжвалкового зазору в межах, обмежених тільки осьовими навантаженнями на валки, що виникають при цьому.

Існують три схеми схрещування валків у клітях кварто: (рис. 2.1, а)- попарно схрещуються валки, при цьому геометричні осі верхнього і нижнього схрещуються, в той час, коли верхні та нижні робочий та опорний валки залишаються строго паралельні; (рис. 2.1 б) -перехрещуються тільки осі опорних валків, при цьому осі робочих залишаються паралельні; (рис. 2.1, в) - перехрещуються лише осі робочих валків, а осі опорних залишаються паралельними.

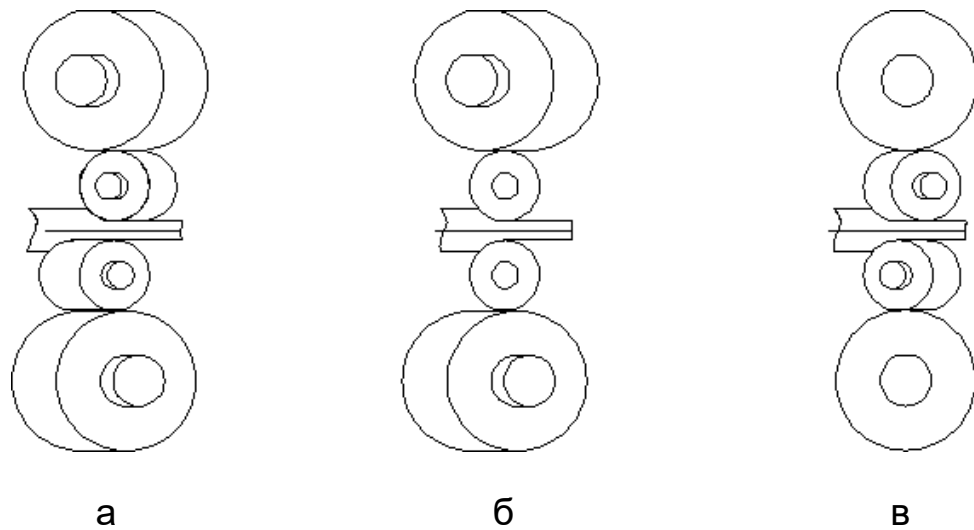


Рисунок 2.1 – Системи з валками, що перехрещуються

Була розроблена математична модель, що дозволяє визначати міжвалковий зазор S , що визначає профіль поперечного перерізу смуги, у всіх трьох випадках схрещування валків. На рис. 2.2 представлена розрахункова схема перехрещування валків:

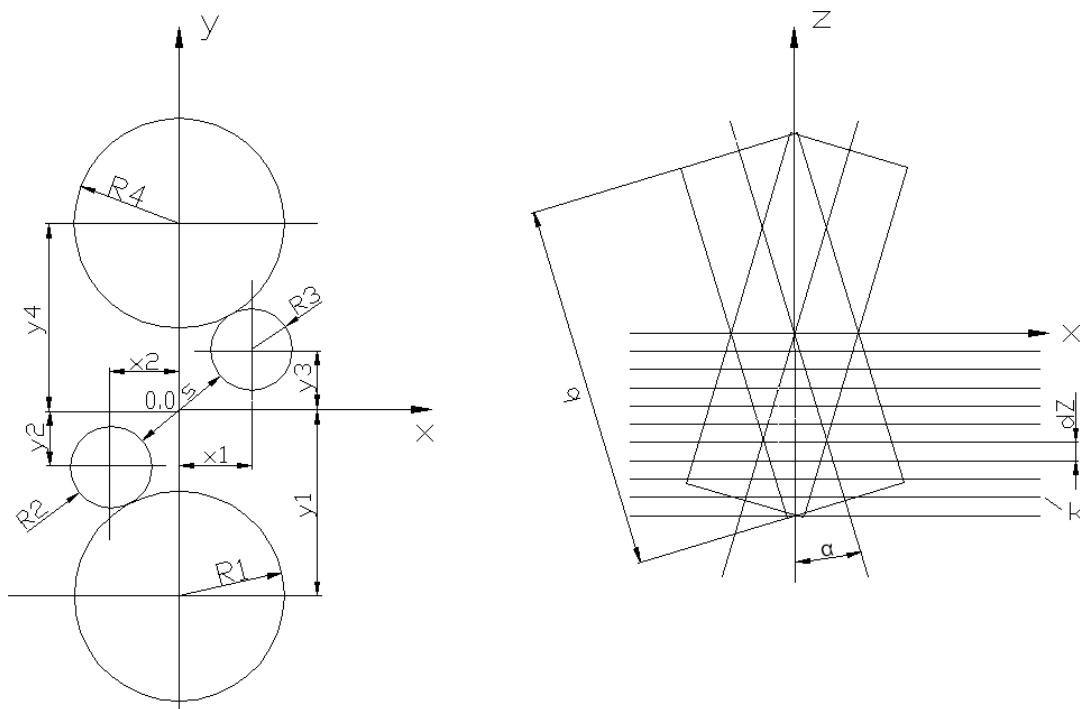


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема визначення міжвалкового зазору S

На основі цього методу спираючись від початкової точки 0.0 і задаючись кутом перекосу, визначаються координати центрів валків. При цьому валок по довжині розбивається на k перерізів, причому збільшення по довжині dz дорівнює:

(2.1)

де, B-ширина смуги; k-кількість розбивок.

Тоді координата Z у будь-якому перерізі дорівнюватиме:

(2.2)

де, zk- координата z в k-му перерізі;

k- порядковий номер перерізу.

Задано тим, що верхній робочий та (або) опорний валки перехрещуються за годинниковою стрілкою, тоді координати центрів валків по осі X беруться зі знаком «-», а нижні робочий та (або) опорний валки проти годинникової стрілки, тоді координати центрів валків беруться зі знаком "+". Визначимо координати центрів валків по осях X і Y:

(2.3)

$$\left(\begin{array}{c} X_1 \\ Y_1 \end{array} \right) = \sqrt{\left(\begin{array}{c} X_3 \\ Y_3 \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} X_4 \\ Y_4 \end{array} \right)^2}$$

$$\left(\begin{array}{c} X_2 \\ Y_2 \end{array} \right) = \sqrt{\left(\begin{array}{c} X_3 \\ Y_3 \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} X_4 \\ Y_4 \end{array} \right)^2} \quad (2.4)$$

де, X1, X1 X3,X4, Y2, Y3 – координати центрів відповідних валків по осях X і Y; - кут схрещування; R1, R2, R3, R4 – радіуси відповідних валків.

Координати Y1 та Y4 не змінюються в процесі перехрещення і відповідно рівні:

$$\left(\quad \right) \quad (2.5)$$

Тоді, виходячи з геометричних залежностей, можемо визначити міжвалковий зазор у цьому перерізі:

$$\sqrt{\left(\quad \right) \left(\quad \right)} \quad (2.6)$$

На основі цієї методики були розраховані міжвалкові зазори, при трьох різних випадках перехрещення.

Отримані залежності міжвалкового зазору від кута перехрещування представлені у графічному вигляді на рисунках 2.3 та 2.4.

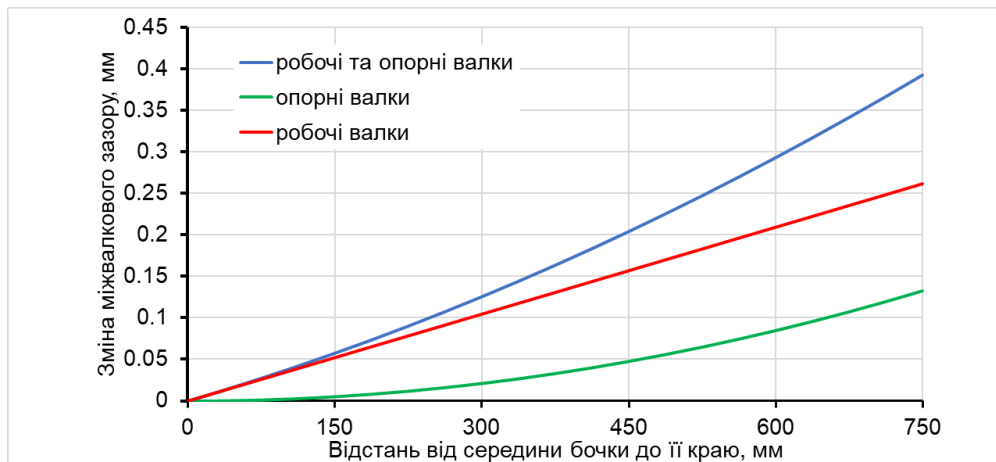


Рисунок 2.3 – Залежність розподілу міжвалкового зазору по довжині бочки валка при куті перехрещування 0,5 градуса

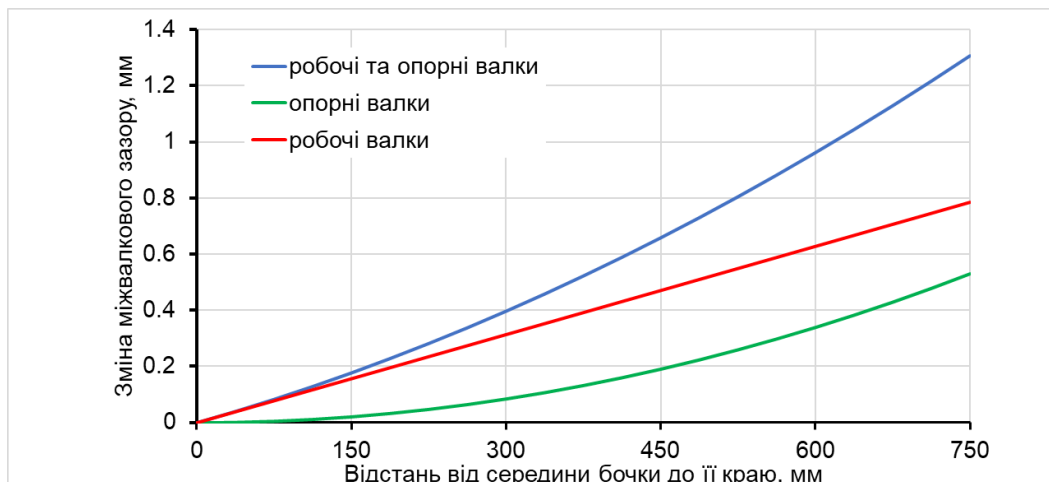


Рисунок 2.4 – Залежність розподілу міжвалкового зазору по довжині бочки валка при куті перехрещування 1 градуса

Наведено аналіз отриманих залежностей, на підставі яких робимо висновок, що більш раціональним, ефективним та простим за конструкцією є спосіб перехрещування робочих валків разом із опорними.

2.2 Автоматизоване регулювання профілю поперечного перерізу смуги при прокатуванні за допомогою протизгину валків

На поперечну різнотовщинність при прокатці щодо тонких смуг впливає прогин утворює бочки прокатного валка, який веде до збільшення обтиснення смуги по краях, і як наслідок отримання хвилястого краю. Розрахунок чисельного значення різниць прогину по осі смуги та її краю можна здійснити за допомогою наступної залежності:

$$\Delta y = \frac{P}{G} \left(\frac{a}{D} \right)^2, \quad (2.7)$$

де P – сила прокатки;

D – діаметр опорного валка;

b – ширина смуги, що прокочується;

a – відстань між опорами;

$G = 0.82 \cdot 10^5$ – модуль зсуву.

Виконаємо автоматизований розрахунок необхідної сили протизгинання при прокатці смуги, найбільш затребуваної ширини $B = 1500$ мм, при цьому відношення зусилля протизгину Q_p до сили прокатки P буде складати: $Q_p/P = 0,1$.

Після проведених чисельних розрахунків поперечна різниця прогинів, валкового вузла, між серединою бочки і краєм смуги, що

прокочується, складає \overline{f}_n мм – без застосування сили противигину та f_n мм – із застосуванням протизгинання робочих валків. При цьому сила прокатки становила $P = 22500$ кН. Знаючи силу прокатки та величини прогинів, можна визначити поперечну жорсткість валкового вузла:

$$e_{y_n} = \left(\overline{f}_n - f_n \right) \quad \text{кН/мм.} \quad (2.8)$$

Знаючи поперечну жорсткість (2.8), знайдемо прогин робочого валка в кожному перерізі по довжині смуги, із застосуванням сили протизгинання, при цьому залежність має вигляд:

$$f_n = \overline{f}_n - \frac{P}{e_{y_n}}, \quad (2.9)$$

звідки знайдемо коефіцієнт α_n :

$$\alpha_n = \frac{\overline{f}_n - f_n}{P} = \frac{1}{e_{y_n}}.$$

Виразимо з рівняння (2.8), з урахуванням рівняння (2.9) та коефіцієнта α_n необхідну силу противигину, яку потрібно застосовувати по довжині смуги при зростанні сили прокатки і як наслідок збільшення прогину:

$$P = \frac{e_{y_n}}{\alpha_n} \overline{f}_n. \quad (2.10)$$

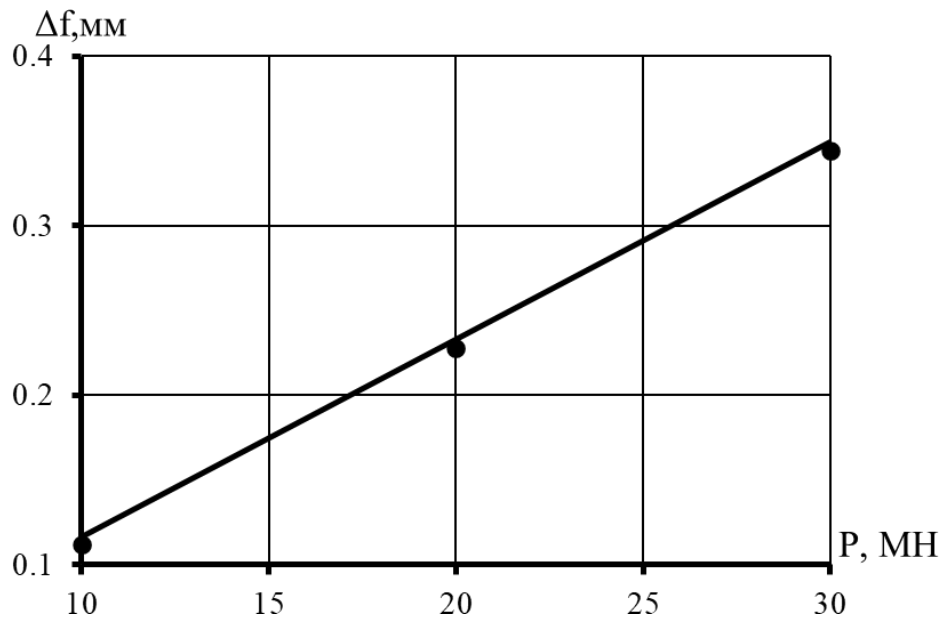


Рисунок 2.5 – Значення вигину валків при $B = 1500\text{мм}$

2.3 Автоматизоване регулювання профілю повздовжнього перерізу смуги

Розрахункова схема, що використовується в даному випадку, передбачає холодну прокатку стрічки з базовою довжиною L_0 представлена на рис. 2.6.

Здійснивши розбиття базової довжини на кінцеву множину m елементарних довжин $\Delta L_0 = L_0/m$, визначимо геометричну координату L_{xj} для кожного окремого j -го поперечного перерізу стрічки, що прокочується:

$$L_{xj} = \Delta L_0(j - 1), \quad (2.11)$$

де $j = 1$ – відповідає початковому перерізу, вихідні параметри якого є номінальними, тобто $x_{ij} \Big|_{j=1} = \bar{x}_i$.

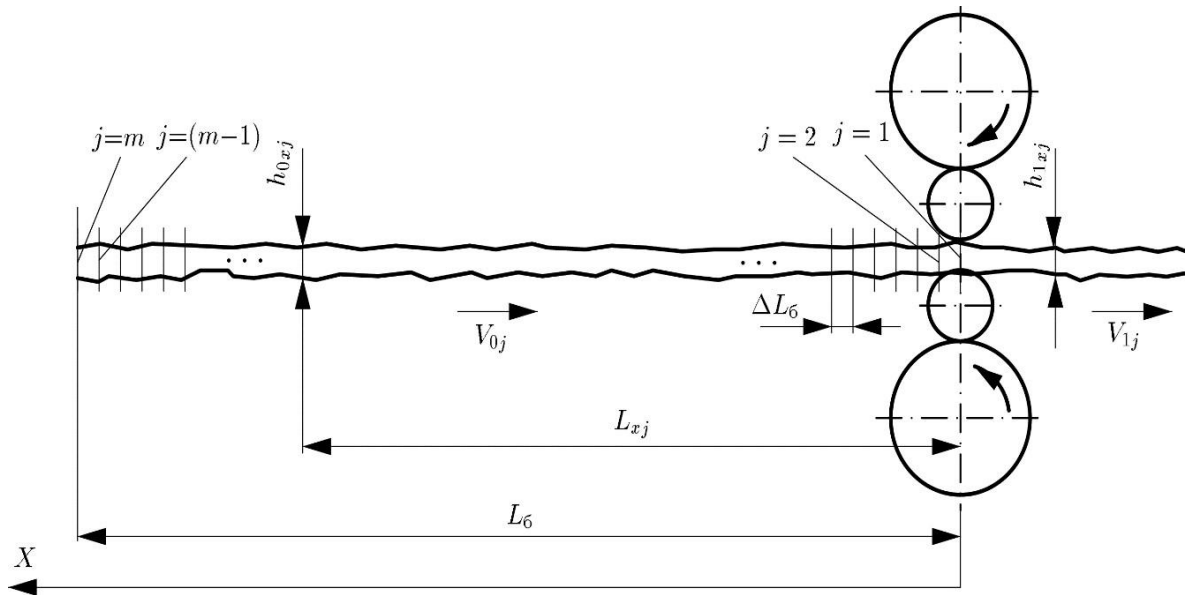


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема до чисельного математичного моделювання розподілів основних показників якості за довжиною холоднокатаних стрічок

Наступне визначення вихідних параметрів для кожного окремого j -го поперечного перерізу стрічки, що прокочується в залежності від його геометричної координати L_{xj} здійснювали на основі лінійно-синусоїдальних залежностей виду:

$$h_{0j} = \bar{h}_0 + \delta h_{00} L_{xj} / L_{\text{б}} + \sum_{k=1}^{K_{kh_0}} \delta h_{0k} \sin(2\pi L_{xj} / L_{kh_0}); \quad (2.12)$$

$$S_{0j} = \bar{S}_0 + \delta S_{00} L_{xj} / L_{\text{б}} + \sum_{k=1}^{K_{kS_0}} \delta S_{0k} \sin(2\pi L_{xj} / L_{kS_0}); \quad (2.13)$$

$$b_j = \bar{b} + \delta b_0 L_{xj} / L_{\text{б}} + \sum_{k=1}^{K_{kb}} \delta b_k \sin(2\pi L_{xj} / L_{kb}); \quad (2.14)$$

$$\sigma_{T_0j} = \bar{\sigma}_{T_0} + \delta \sigma_{T_00} L_{xj} / L_{\text{б}} + \sum_{k=1}^{K_{k\sigma_{T_0}}} \delta \sigma_{T_0k} \sin(2\pi L_{xj} / L_{k\sigma_{T_0}}); \quad (2.15)$$

$$f_j = \bar{f} + \delta f_0 L_{xj} / L_{\text{б}} + \sum_{k=1}^{K_{kf}} \delta f_k \sin(2\pi L_{xj} / L_{kf}); \quad (2.16)$$

$$T_{0j} = \bar{T}_0 + \delta T_{00} L_{xj} / L_{\text{б}} + \sum_{k=1}^{K_{kT_0}} \delta T_{0k} \sin(2\pi L_{xj} / L_{kT_0}); \quad (2.17)$$

$$T_{1j} = \bar{T}_1 + \delta T_{10} L_{xj} / L_6 + \sum_{k=1}^{K_{kT_1}} \delta T_{1k} \sin(2\pi L_{xj} / L_{kT_1}), \quad (2.18)$$

або у більш узагальненій формі:

$$x_{ijj} = \bar{x}_{ij} + \delta x_{ij0} L_{xj} / L_6 + \sum_{k=1}^{K_{kx_{ij}}} \delta x_{ijk} \sin(2\pi L_{xj} / L_{kx_{ij}}), \quad (2.19)$$

де \bar{x}_i – номінальні значення відповідного вихідного параметра;

δx_{i0} – абсолютне значення збільшення даного параметра при його зміні на базовій довжині за лінійним законом;

k – порядковий номер відрізка під час розбиття базової довжини L_6 на кінцеву безліч K_{ki} окремих періодів протяжністю L_{kxi} , відповідних синусоїдальному закону зміни даного вихідного параметра;

δx_{ik} – напіврозмах зміни відповідного i -го вихідного параметра в рамках даного k -го періоду синусоїдального закону.

Безпосереднє рішення пружно-пластичної системи "робоча кліть - стрічка" здійснювали на основі методу цілеспрямованого перебору варіантів, аналітичний опис якого відповідає

$$h_{1(t+1)} = h_{1t} + A_{h_1} \text{sign}[S_0 - S_{0t}], \quad (2.20)$$

де t – порядковий номер чергового циклу ітераційного рішення;

A_{h_1} – крок зміни кінцевої товщини стрічки, що прокочується, величина якого була прийнята змінною залежно від ступеня наближення до шуканого результату;

$\text{sign}[S_0 - S_{0t}]$ – функція знаку.

Результати щодо зміни міжвалкового зазору, отримані за даною методикою, наведені на рис. 2.7.

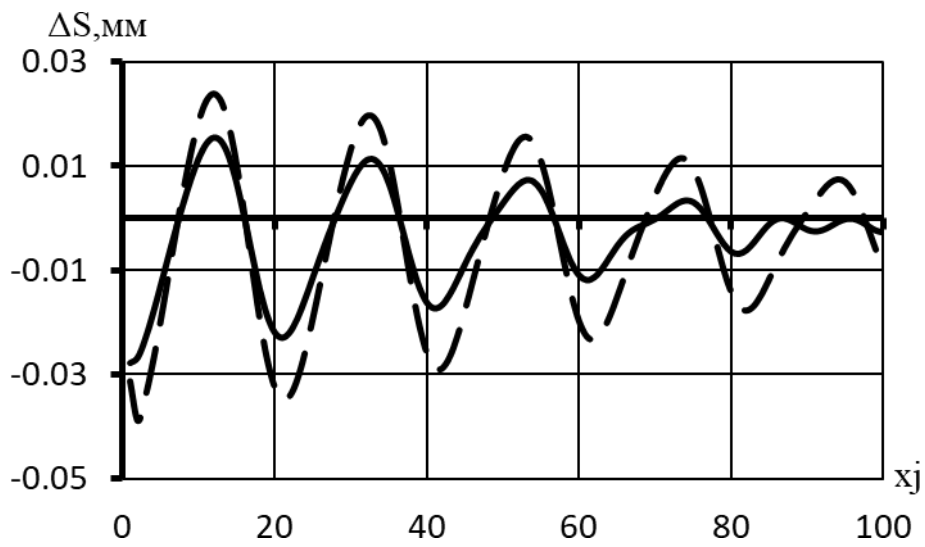


Рисунок 2.7 – Результати моделювання зміни міжвалкового зазору при прокатці

3 СКЛАД ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА НА 4-КЛІТЬОВОМУ БЕЗПЕРЕРВНОМУ СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

3.1 Склад обладнання цеху холодної прокатки

Призначення цеху: виготовлення товарної продукції у вигляді холоднокатаних листів та рулонів, а також передільних холоднокатаних рулонів для цеху жерсті та цеху гнутих профілів, травлених гарячекатаних листів.

Цех має у своєму складі такі відділення: травильні, прокатні, термічні, дресирувальні, нержавіючих листів та підготовки валків, відділення жерсті.

Сортамент листів: товщина 0,5...2,0 мм; ширина 850...1500 мм; довжина 1400...3950 мм. Сортамент вихідних гарячекатаних смуг: товщина 2...4 мм, ширина 850...1530 мм.

Травильне відділення включає три травильні лінії № 1,2,3, в яких відбувається процес видалення окалини з поверхні смуг. Лінії № 1 і 2 спеціалізуються на травленні смуг вуглецевої сталі; № 3 – смуг з нержавіючої сталі.

Травильні лінії мають у своєму складі по 4 травильні ванни та допоміжне обладнання : розмотувачі, окалиноломачі, моталки, зшивні машини, ножиці для обрізання кінців смуг та ін.

У травильній лінії № 1 є дресирувальна кліть дуо для полегшення видалення окалини.

На результати травлення впливає склад та товщина шару окалини, які, у свою чергу, залежать від умов гарячої прокатки та змотування смуг в рулони, марок сталі, а також концентрації кислоти в травильних розчинах.

Після гарячої прокатки метал охолоджується 2...3 доби. Температура рулонів перед травленням повинна бути не вище за 150°C. Травлення смуг ведеться у розчинах сірчаний кислоти каскадним способом.

Безперервний 4-х клітьовий стан 1680 складається з 4-х послідовно розташованих клітей Кварто та допоміжного обладнання: приймального та поворотного пристроїв, скидача рулонів, розмотувача, роликової прес-проводки, моталки барабанного типу, знімача та лінії прибирання рулонів (рис. 3.1) [10].

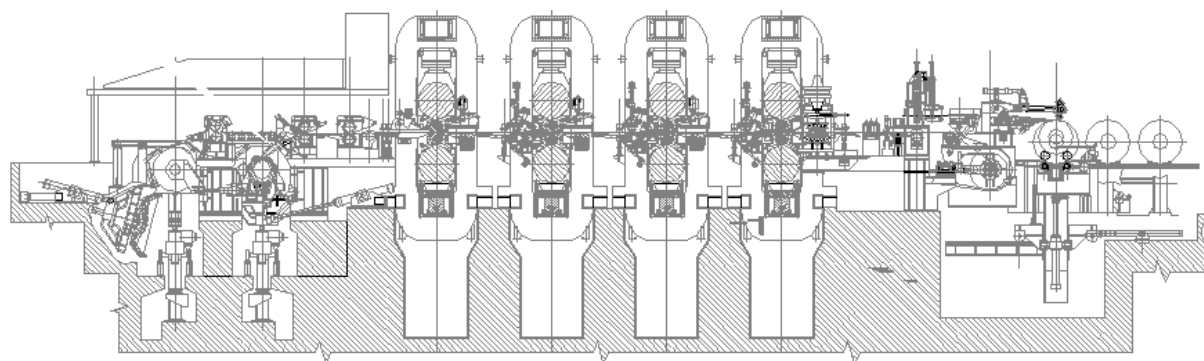


Рисунок 2.1 – Склад обладнання стану холодної прокатки 1680

Безперервний стан (рис. 3.1) складається з чотирьох робочих клітей з діаметром валків: робітників 510 мм, опорних 1470 мм та з довжиною бочки валків 1700 мм. Швидкість руху лінії 8-20 м/с, заправка 0,5-1 м/с.

Робочі валки кожної кліті мають індивідуальний привід від електродвигунів постійного струму через комбіновані редуктори та шпинделі зубчастого типу. Характеристика основних приводів: перша кліть – два двигуни потужністю по 2900 кВт кожен через редуктор $i=1,16$; друга кліть – два двоякорні двигуни по 2640 кВт і два двоякорні двигуни по 2310 кВт, $i=1,32$; третя і четверта кліть мають привід від таких же електродвигунів, що й друга кліть, але

різні передавальні числа редукторів, що прискорюють: 1,48 і 1,61. Моталка має безредукторний привід від трикорного електродвигуна постійного струму потужністю 3х1250 кВт, діаметр барабана моталки 610 та 750 мм.

Завантажувальний пристрій перед станом складається з крокового транспортера, срібкового відгинача кінця смуги з притискним роликком, візки для підйому та подачі до розмотувача чергового рулону, центрування смуги щодо осі прокатки та створення заднього натягу смуги при прокатці.

Усі робочі кліті мають однакову конструкцію; робочі валки встановлені на роликкових конічних чотирирядних підшипниках, опорні валки - на ПРТ (у комбінації з роликковими дворядними підшипниками з боку приводу); максимальне зусилля металу на валки під час прокатування 20 МН; максимальний момент 0,4 МН·м. Діаметр натискного гвинта 560 мм, крок 24 мм, швидкість переміщення гвинта 0,45 мм/с. Маса робочих валків з подушками 15 т, опорних валків з подушками 130 т.

Характеристики приводу клітей представлені в табл. 3.1, а харектиристики валків – в табл. 3.2.

Таблиця 2.1 – Характеристика приводу валків

№ кліті	Потужність двигуна , кВт	Число оборотів якоря, об/ хв	Швидкість прокатки, м/с
1	3300	110/200	2,75...5,0
2	3300	160/280	4,0...7,0
3	3300/2800	220/280	5,8...9,5
4	2 x 1650	200/450	5,6...10

Таблиця 3.2 – Характеристика валків безперервного стану

Вид валків	Діаметр бочки, мм	Довжина бочки, мм	Вага валка, т	Тип підшипників
робочі	510	1680	3,12	роликові
опорні	1300	1680	23,6	рідинного тертя

Всі кліті мають пристрої для гідромеханічного регулювання профілю робочих валків. З боку входу смуги у кожену кліть встановлені плоскі проводкові столи; на вихідному боці є проводки підтримки кінця смуги при заправці. Між клітьями розташовані пристрої для захисту робочих валків від «оковування» смугою та парасольки витяжної вентиляції для видалення парів емульсії та олії. Консольний барабан моталки має додаткову опору, шарнірно з'єднану зі станиною четвертої кліті. Заправка смуги здійснюється за допомогою захльостувача.

Стан оснащений системами автоматизації з супроводу шва, контролю товщини смуги, точною зупинкою кінця смуги на розмотувачі, контролю профілю робочих валків та протизгинання робочих валків, регулювання товщини смуги в поздовжньому напрямку, а також трьома системами приготування та подачі пальмової олії або емульсії на смугу в процесі холодної прокатки та системної подачі миючого розчину на всі кліті стану.

На стані є такі прилади технологічного контролю: месдозы для вимірювання тиску на валки, вимірювачі натягу смуги, товщини смуги, температури валків, тиску олії в системі гідроприводів, швидкості прокатки та ін.

Реверсивний стан 1680 складається з кліті кварто та обслуговуючого його обладнання (конвеєра, перекидача, розмотувача, моталок та ін.).

Привід робочих валків здійснюється від двигуна потужністю 1650 кВт через комбінований редуктор. Робочі валки мають номінальний діаметр 510 мм, опорні валки 1420 мм, довжина бочки валків – 1680 мм.

Сортамент смуг за розмірами не відрізняється від сортаменту безперервного стану; у марочному складі реверсивний стан додатково здійснює прокатку смуг з легованих та високовуглецевих сталей.

На відміну від безперервного стану, реверсивний стан обладнаний двома моталками, розташованих з обох сторін стану, які створюють натягнення при прокатці. Привід моталок від двигуна потужністю 440 кВт.

Відпал холоднокатаних рулонів виробляється в одностопних ковпакових печах у захисній атмосфері. Максимальна вага садку 45 т (3-5 рулонів).

Пічі складаються зі стенду, муфелю та нагрівального ковпака. Один ковпак обслуговує три стенди.

У відділенні встановлено 252 стенди, згрупованих у 16 блоків: 14 блоків по 15 стендів та 2 блоки по 21 стенду. До складу кожного із 14 блоків входять 15 муфелів та 6 ковпаків, а до складу кожного блоку по 21 стенду входять 21 муфель та 8 ковпаків. Блоки мають автономну систему подачі природного та захисного газів, повітря, електроенергії та води.

Печі опалюються природним газом із теплотворною здатністю 3350 ккал. Кожен ковпак обладнаний 8-ма інжекційними пальниками, встановленими тангенційно до стінок муфелю. Максимальний діаметр відпалюваного рулону 1600 мм, максимальна висота стопи 4700 мм. Теплова потужність ковпака 530000 ккал/год. Нагрівальний ковпак представляє собою циліндричний корпус, футерований

вогнетривким цеглою. Загальна вага ковпака – 19 т. Муфель виготовлений з нержавіючої сталі завтовшки 6 мм та є герметичним.

Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для створення конвекції захисного газу під муфелем. Печі обладнані також контрольно-вимірювальною апаратурою, що забезпечує задані режими відпалу. Режим відпалу, наприклад, сталі 08пс наступний: температура по стендовій термопарі 670-710°C, нагрівання 10-18 годин; витримка – 10 годин, охолодження – 44 години. Загальний час відпалу близько 3-х діб.

До складу дресирувального відділення входять дресировочні стани 1700-1 та 1700-2 та агрегати різання рулонів на листи АПР № 1,2,3,4.

Дресирувальні стани складаються з кліті кварто, розмотувача, моталки та допоміжного обладнання. Привід стану – від електродвигуна потужністю 600 кВт. Робочі валки мають діаметр 500 мм, опорні – 1300 мм; довжина бочки – 1700 мм. Максимальна швидкість дресування – 20 м/с.

Профілювання: опорні валки – циліндричні; робочі валки: верхній – опуклий (опуклість до 0,06 мм); нижній – циліндричний. Стани обладнані системами протизгинання.

Моталка створює натягіння до 50 кН і приводиться двигуном потужністю 630 кВт.

Агрегати поперечного різання ріжуть смугу на листи довжиною від 1400 до 3950 мм. Агрегат складається з ножиць барабанного типу та допоміжного обладнання (розмотувач, правильна машина, промаслюючі ролики, листоукладачі). Швидкість різання – до 2,5 м/сек. Агрегати обладнані машинами для визначення кількості листів у пачці.

Загальна маса технологічного устаткування цеху близько 65 000т. Сумарна потужність електроприводів – 75 тис. кВт.

Обладнання цеху розташоване в будівлі з 10 прольотів довжиною до 550 м, шириною 30-42 м та висотою (до будівельних ферм) 18 м. У цих прольотах встановлено 40 мостових електричних кранів вантажопідйомністю від 15/3 до 100/20 т; загальна маса кранів близько 1300т.

Об'єм виробництва – близько 1,5 млн. т гарячекатаного та холоднокатаного листа. Продуктивність безперервного стану близько 140 т/год. Витрата металу на 1 т холоднокатаного листа близько 1100 кг.

3.2 Технологія прокатки

Технологічний процес виробництва холоднокатаної смуги дуже складний, оскільки включає велику кількість переділів, вимагає застосування різноманітного та складного обладнання та пов'язаний з великими енергетичними витратами (рис. 3.2). У зв'язку з цим капіталовкладення під час виробництва на 20...25%, а експлуатаційні витрати на 10% вище, ніж за виробництва гарячекатаної штаби. Сумарне обтиснення на чотирьоклітьових станах досягає 80% [9, 10].

Протравлені рулони краном встановлюються на завантажувальний конвеєр №1, тут відбувається кантування рулону пристроєм 5; потім рулони просуваються по завантажувальному конвеєру №2 і відбувається вимірювання діаметра рулонів пристроєм 6; за допомогою візка завантажувальної рулони 4 подаються на розмотувач двоголовчастий плаваючий 7. На даному стані можна проводити розмотування безперервно по два рулони, один з розмотувача і інший безпосередньо з завантажувального візка. Кінець смуги відгинається і задається в ролики, що тягнуть правильно-натяжної машини встановленої перед клітиною №1.

Потім тягнучими роликами смуга задається у валки робочих клітей 14, 15 (із заправною швидкістю) (рисунок 3.2).

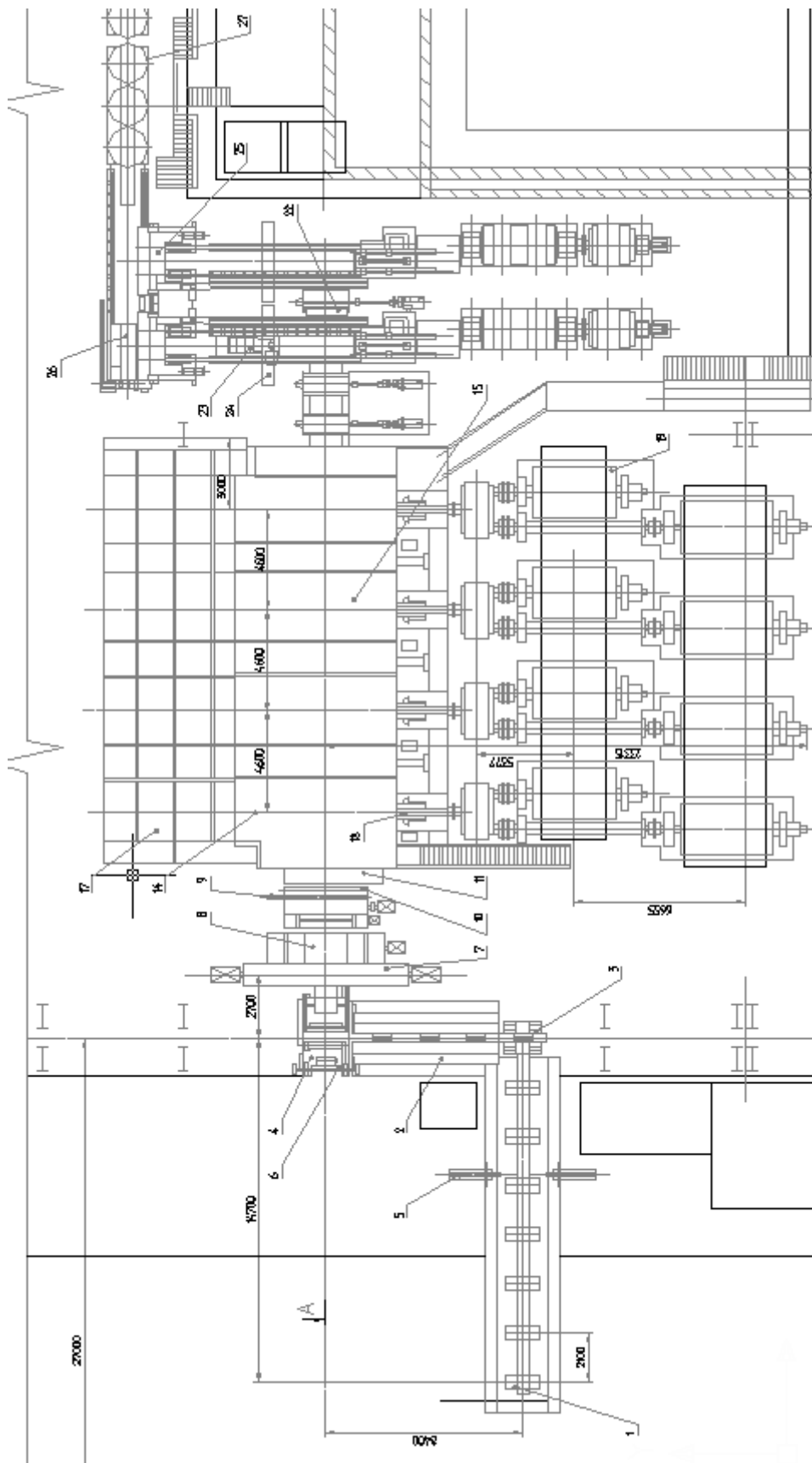


Рисунок 3.2 – План розміщення обладнання стану холодної прокатки 1680

Смуга, пройшовши робочі валки 4-ї кліті, намотується на барабан моталки 22 за допомогою захльостувача. Після намотування 3...4 витків захльостувач з'їжджає з барабана моталки, створюється натяг між клітями, моталкою та розмотувачем, та стан розганяється до робочої швидкості.

Після прокатки рулону, коли на головках розмотувача залишається два-три витки смуги, швидкість стану уповільнюється до заправної, після чого кінець смуги пропускають через робочі кліті.

На барабані моталки кінець смуги фіксується притискним роликком, і після змотування рулон за допомогою знімного візка 23 подається на пристрій обв'язування рулонів, і потім за допомогою кантувача 25 і передавального візка 26 рулони подаються на розвантажувальний конвеєр №1; рулони маркуються маркувальником 29, подаються на розвантажувальний конвеєр №2, а далі передаються у відділення відпалу або до агрегату електролітичного очищення.

3.3 Математична модель процесу холодної прокатки смуг

Оптимізація технологічних режимів обтиснення при холодній прокатці відноситься до найважливіших факторів, що забезпечують підвищення техніко-економічних показників процесу прокатного виробництва загалом. При цьому значення оптимальних технологічних режимів обтискань та відповідних їм енергосилових параметрів процесу прокатки є необхідним з точки зору підвищення ступеня наукової обґрунтованості проектно-конструкторських рішень, що використовуються як при створенні нових, так і при модернізації

прокатних станів, що діють. Удосконалення відомих та промислове освоєння нових технологічних процесів прокатки робить необхідною наявність їх суворих математичних описів, невід'ємною складовою яких є методики розрахунку основних енергосилових параметрів. Від правильного визначення зазначених параметрів залежить як працездатність і надійність, і техніко-економічні показники механічного устаткування прокатних станів [11...13].

Основними енергосиловими параметрами процесу прокатки є сила прокатки, момент прокатки, переднє і заднє натягнення смуги, потужність прокатки.

Безпосередньо як цільові функції при оптимізації технологічних режимів обтиснень були використані математичні моделі процесу холодної прокатки, організовані на виконанні критеріїв повного завантаження механічного обладнання.

Програмне забезпечення вирішення поставленої задачі оптимізації було здійснено на основі алгоритмічного методу цілеспрямованого перебору варіантів. Аналітичний опис даного методу може бути представлений у вигляді [13]:

$$\Delta h_{i(k+2)} = \Delta h_{ik} + A_h \text{sign}([x] - x_{ik}),$$

де h_i – величина абсолютного обтиснення смуги в i -му проході;
 k – порядковий номер чергового циклу ітераційної процедури рішення;

Δh – крок зміни величини абсолютного обтиснення, кількісна оцінка якого була прийнята змінною залежно від ступеня застосування проміжних результатів до вихідного;

$[x_i]$ – задані значення параметрів $[P_i]$, $[N_i]$, $[M_i]$ безпосередньо пов'язаних із прийнятим критерієм оптимальності;

$$([\] \) \ \{ \begin{array}{l} \text{при} [\] \\ \text{при} [\] \\ \text{при} [\] \end{array}$$

Враховуючи викладене вище та виходячи з логіки функціональних зв'язків між величиною абсолютного обтиснення та енергосиловими параметрами процесу прокатки, розв'язання задачі оптимізації за умовою повного завантаження механічного обладнання можна подати у вигляді послідовних покрокових прирощень [13]:

$$\Delta h_{i(k+1)} = \Delta h_{ik} + 0,01 \cdot h_{0i},$$

у разі одночасного виконання кожної з умов: $P_i \leq [P_i]$, $M_i \leq [M_i]$, $N_i \leq [N_i]$.

У разі невиконання хоча б однієї з цих умов змінимо величину покрокового збільшення:

$$\Delta h_{i(k+1)} = \Delta h_{ik} - 0,01 \cdot h_{0i},$$

де h_{0i} – вихідна товщина смуги в даному проході.

Таким чином, може бути визначено абсолютне обтиснення, що відповідає умові забезпечення максимально допустимого завантаження і, як наслідок, умови досягнення максимальної продуктивності механічного обладнання конкретних прокатних станів.

3.4 Визначення технологічних режимів та енергосилових параметрів прокатки смуги 0,8×1500 мм

Як підкат для виробництва смуги 0,8×1500 мм (матеріал – сталь 10кп) задано гарячекатану смугу 2,7×1500 мм.

Поширенням смуги можна знехтувати, т.к. параметри осередку деформації не сприяють течії металу завширшки.

Приймаємо для першої кліті відносне обтиснення 31,5%, отже кінцева товщина після першої кліті становить 1,85 мм.

Вихідними параметрами визначення енергосилових параметрів процесу є:

- початкова товщина смуги *мм*
- кінцева товщина смуги *мм*
- ширина смуги *мм*
- коефіцієнти зміцнення матеріалу смуги:

- діаметр робочих валків (максимальний) *мм*
- коефіцієнт тертя
- коефіцієнт переднього натягіння
- коефіцієнт заднього натягіння
- допустима сила прокатки 20 МН.

Абсолютне обтиснення:

(3.1)

мм

Довжина дуги контакту без урахування пружного сплющування валків.:

$$\sqrt{\quad} \quad (3.2)$$

$$\sqrt{\frac{M}{H}} \sqrt{\frac{M}{H}} \quad \text{мм}$$

Коефіцієнт, що враховує тертя та вплив зовнішніх зон:

$$\frac{M}{H} \quad (3.3)$$

Товщина смуги в нейтральному перерізі:

$$H \sqrt{\frac{M}{H}} \quad (3.4)$$

$$H \sqrt{\frac{M}{H}} \quad \sqrt{\frac{M}{H}}$$

мм

Фактична границя текучості:

$$\phi \quad - \quad - \quad - \quad (3.5)$$

$$\phi \quad - \quad - \quad -$$

$$- \quad - \quad (\quad)$$

$$- \quad \text{МПа}$$

Подвійний коефіцієнт опору чистому зрушенню:

$$\phi \quad (3.6)$$

$$\phi \quad \text{МПа}$$

Коефіцієнт напруженого стану:

$$\frac{M}{H} * \left(\frac{M}{H} \right) \left[\left(\frac{M}{H} \right) \right] \left[\left(\frac{M}{H} \right) \right] + \quad (3.7)$$

$$\frac{M}{H} \left[\left(\frac{M}{H} \right) * \left(\frac{M}{H} \right) \right] + \frac{M}{H} * \left(\frac{M}{H} \right) +$$

$$\frac{1}{E} \left[\frac{F}{b} \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \right] + \frac{1}{E} \left[\frac{F}{b} \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \right] +$$

Середні нормальні контактні напруження:

$$\sigma_{cp} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{F}{b}} \sqrt{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}} \sqrt{\frac{E}{1-\nu^2}} \quad (3.8)$$

МПа

Допоміжний параметр при визначенні сплющеної контактної дуги:

$$\left(\frac{\nu}{E} \frac{F}{b} \right) \quad (3.9)$$

де ν — коефіцієнт Пуассона матеріалу валків та смуги (для сталі 0,3),

E — модуль пружності матеріалу валків та смуги (для сталі $2,1 \cdot 10^5$ МПа),

$$\left(\frac{F}{b} \right) \quad \text{мм.}$$

Довжина дуги контакту з урахуванням пружного сплющування валків:

$$\frac{\sqrt{\frac{F}{b}}}{\sqrt{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}} \quad (3.10)$$

мм

Похибка розрахунку дуги контакту розрахуємо за такою формулою:

$$\frac{\Delta L}{L} \quad (3.11)$$

Так як похибка перевищує 5%, проводимо ітераційну процедуру, для чого повторюємо розрахунок з визначення коефіцієнта, що враховує тертя та вплив зовнішніх зон:

$$H \quad \sqrt{\frac{(\dots)}{(\dots)}} \quad MM$$

$$\frac{(\dots)}{(\dots)} * (\dots) + \frac{(\dots)}{(\dots)}$$

$$* (\dots) +$$

ср $\quad MPa$

$$\frac{(\dots)}{(\dots)} \quad MM.$$

$$\sqrt{\frac{(\dots)}{(\dots)}} \quad MM$$

$$| \dots | \quad | \dots |$$

Продовжуємо розрахунок.

Сила прокатки:

(3.12)

МН

Момент прокатки:

$$* (\dots) - [C_{H}^{-}] \quad] \quad (\dots) - [C_{H}^{+}]$$

$$]+ \dots \quad (3.13)$$

$$M \left[\left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \frac{H}{kH}$$

Потужність прокатки:

$$- \frac{M}{kH} \text{ кВт} \quad (3.14)$$

При вибраному режимі прокатки в першій кліті кварто енергосилові параметри не перевищують граничних значень.

Подальший розрахунок проводили на ЕОМ. Програму розрахунку надано на рис. 3.3.

```

Public Sub calc(h0, h1, e0, V, P, M, Np, K2c)
dh = h0 - h1
e = dh / h0
L0 = Sqr(R * dh)
K2c = a0 + a1 * e0 + a2 * e0 ^ 2 + a3 * e0 ^ 3
K2c = K2c + 2 / 3 * (1 - e0) * (a1 + 2 * a2 * e0 + 3 * a3 * e0 ^ 2) * e
K2c = K2c + 8 / 15 * (1 - e0) ^ 2 * (a2 + 3 * a3 * e0) * e ^ 2
K2c = K2c + 15 / 75 * (1 - e0) ^ 3 * a3 * e ^ 3
K2c = K2c * 1.155
Do
del = 2 * f * L0 / dh
hn = (1 - s0) / (1 - s1) * h0 ^ (del - 1) * h1 ^ (del + 1)
hn = hn ^ (1 / 2 / del)
nG = (1 - s0) * h0 / (del - 2) * ((h0 / hn) ^ (del - 2) - 1)
nG = nG + (1 - s1) * h1 / (del + 2) * ((hn / h1) ^ (del + 2) - 1)
nG = nG / dh
Pcp = K2c * nG
x = 8 * R * Pcp * (1 - 0.3 ^ 2) / 3.1415 / 210000#
Lc = Sqr(R * dh + x ^ 2) + x
dl = (Lc - L0) / L0 * 100
L0 = Lc
Loop While dl > 5
P = Pcp * b * Lc / 1000000#
ks = (1 - s0) * h0 / (del - 2) * ((h0 / hn) ^ (del - 2) - 1)
ks = ks - (1 - s1) * h1 / (del + 2) * ((hn / h1) ^ (del + 2) - 1)
M = 2 * ks * K2c * f * R * b * Lc / dh / 1000000#
Np = M * V / R * h0 / hn
End Sub

```

Рисунок 3.3 – Частина програмного коду

Числові результати розрахунку наведено у таблиці 3.1, а графічні – на рис. 3.4...3.5.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку енергосилових параметрів

Номер кліті	h0, мм	h1, мм	ε	λ	L, м	V, м/м	P, МН	N, МВт
I	2.7	1.85	0.314815	1.459459	688.6	2.19	16	2.65
II	1.85	1.35	0.27027	1.37037	943.6	3.00	18.5	3.23
III	1.35	1	0.259259	1.35	1273.9	4.05	19.5	3.66
IV	1	0.8	0.2	1.25	1592.4	5.06	18.1	2.74

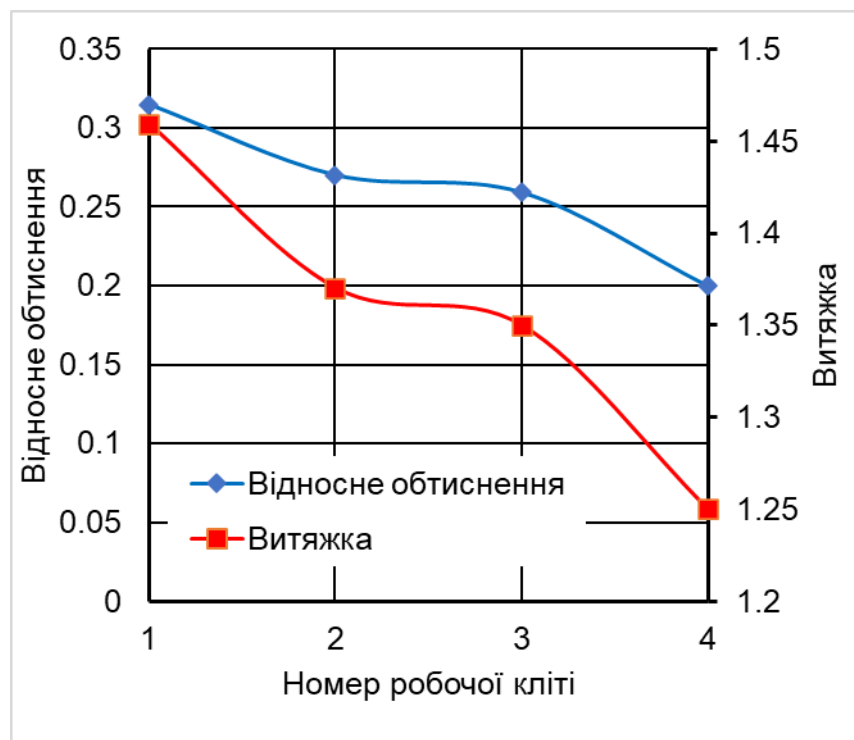


Рисунок 3.4 – Розподіл деформаційних показників по робочих клітях

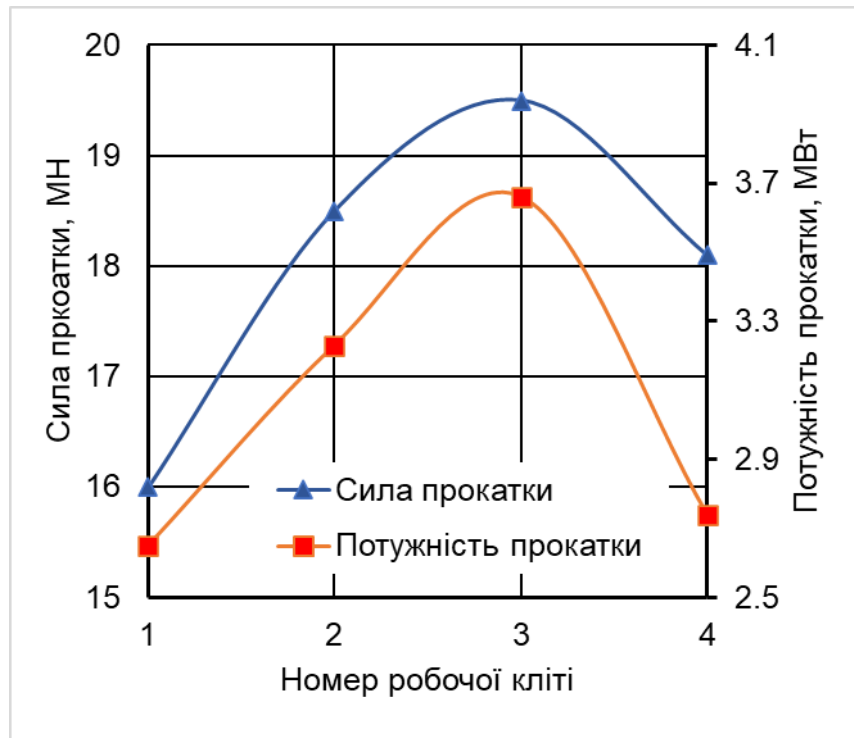


Рисунок 3.5 – Розподіл енергосилових параметрів по робочих клітках

3.5 Розрахунок продуктивності стану

Згідно до завдання маса рулону повинна бути 15 тон. Звідси знайдемо об'єм рулону, поділивши масу на щільність:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Звідси можна визначити початкову довжину рулону, поділивши об'єм на товщину і ширину смуги:

$$L = \frac{V}{h \cdot b}$$

Визначаємо довжину рулону за проходами та час прокатки t_3 , результати наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку часу прокатки

Номер кліті	h0, мм	h1, мм	λ	L, м	V, м/м	t _з , сек
I	2.7	1.85	1.459459	688.6	2.19	314.5
II	1.85	1.35	1.37037	943.6	3.00	314.5
III	1.35	1	1.35	1273.9	4.05	314.5
IV	1	0.8	1.25	1592.4	5.06	314.5

Відстані по лінії стану:

від розмотувача до кліті №1 – 6,9 м;

між клітями – по 5 м, всього – 15,0 м;

від кліті №4 до моталки – 4 м.

Всього відстань від розмотувача до моталки складає 25,9 метрів.

Час проходження смуги на заправної швидкості (пуск та стоп), що дорівнює 0,5 м/с:

— — .

Час розгону та гальмування стану при прискоренні 2,0 м/сек²:

— — .

Машинний час прокатки (рис. 4.1):

Σ

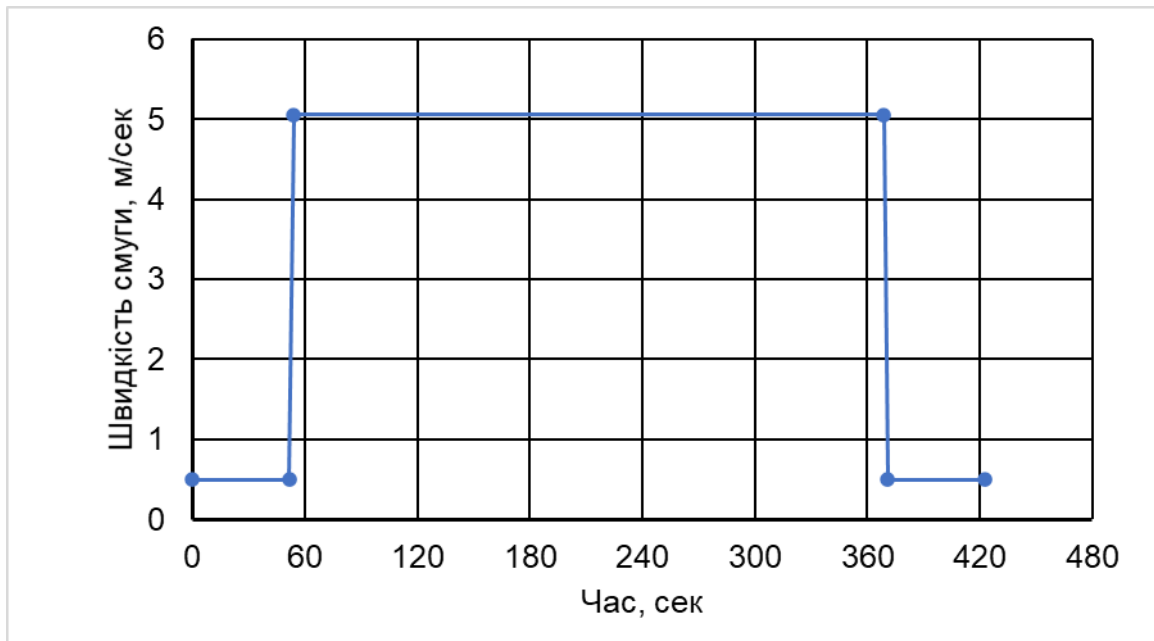


Рисунок 3.6 – Розподіл швидкості прокатки за часом

Час пауз, тобто найбільший час, що витрачається на налаштування міжвалкових зазорів або встановлення нового рулону або зняття прокатаного рулону. В даному випадку він становить

Ритмом прокатки є сума машинного часу та часу пауз:

Годинна продуктивність:

При фактичному часі роботи безперервних станів холодної прокатки 7300 годин на рік, річна продуктивність становить:

Тобто продуктивність 800 тис. тон на рік за визначеними технологічними режимами забезпечена.

3.6 Рекомендації з удосконалення процесу прокатки на безперервному стані холодної прокатки 1680

Для отримання високих якісних показників прокатки тонких листів та смуг необхідно забезпечити контроль якості, починаючи від отримання гарячекатаної сталі.

Основним питанням є збільшення виходу придатного прокату, що можливо досягти двома способами:

- зменшення поздовжньої та поперечної різнотовщинності та непланшетності смуги;
- отримання правильної прямокутної форми листа у плані.

Цього дозволяють досягти такі методи, як застосування якісних технологічних мастил, різного роду профілювання прокатних валків (включаючи такі методи, як дозгинання і протизгинання валків), автоматичний контроль товщини смуги в процесі прокатки (використання летучих мікрометрів у симбіозі з гідравлічними системами регулювання смуги). Автоматичний контроль товщини та профілю поперечного перерізу смуги є найважливішим питанням удосконалення прокатного виробництва та технології холодної прокатки зокрема.

Підкатом для виробництва холоднокатаних листів і смуг у рулонах служить гарячекатана смуга, отже, підвищення якості гарячекатаної продукції спричиняє зменшення барку при виробництві холоднокатаних листів і смуг.

1) У безперервних травильних агрегатах необхідно застосувати травлення смуг у розчині соляної кислоти замість сірчаної, що покращить якість травлення та знизить витрати на травлення; з метою усунення пошкодження поверхні смуги замість петлевих ям доцільніше застосувати петльові станції з натяжними роликками.

2) Необхідно підвищити жорсткість робочих клітей за допомогою гідромеханічних пристроїв для регулювання профілю

валків; ці заходи значно зменшують поздовжню та поперечну різнотовщинність готової смуги.

3) Застосувати нові та вдосконалені агрегати для покриття смуги (цинком, полімерами) та агрегати поздовжнього та поперечного різання, правки та упаковки.

4) Усі технологічні операції механізувати та створити локальні системи автоматизації. Передбачити на стані можливість нескінченної прокатки смуги.

4 СКЛАД І ОЦІНКА РОБОТОЗДАТНОСТІ ОБЛАДНАННЯ РОБОЧИХ КЛІТІВ СТАНУ ТАНДЕМ 1680

4.1 Склад та конструкція робочої кліті

Робоча кліть складається зі станини, комплекту робочих і опорних валків, гідромеханічного натискного механізму та циліндра врівноваження опорних валків, який вмонтований у розточування верхньої поперечки. Цей гідроциліндр виконує також функцію гідрошайби, яка застосовується для регулювання поздовжньої різнотовщинності. Робочі валки встановлені на статодинамічних підшипниках рідинного тертя, при цьому осьове навантаження сприймається радіально-упорними підшипниками.

Вузол робочих валків складається безпосередньо з валків, шийки яких встановлені у подушках. У свою чергу подушки пов'язані з траверсами за допомогою вкладишів ковзання, для можливості переміщення робочих валків вздовж осі. Гідроциліндри противигину вмонтовані у так званий Mae West Block, який встановлюють між робочими валками. Поршні цих гідроциліндрів пов'язані за допомогою пальців із траверсами. Залежно від того, в яку область циліндрів (поршневу або штокову) подається робоча рідина, вони можуть працювати в режимах дозгинання та протизгинання.

4.2 Інженерні розрахунки станин та валкового вузла робочої кліті

4.2.1 Розрахунок станини на міцність та визначення її жорсткості

Розрахунок станини на міцність.

Станину розраховують на максимальне вертикальне зусилля, що діє при прокатуванні на шийки валків. Горизонтальні зусилля, які діють на станину в момент захоплення металу валками та при прокатці з натягом, можна не враховувати, оскільки порівняно з вертикальним зусиллям їхня величина не значна. Для спрощення розрахунку станину закритого типу представимо у вигляді твердої прямокутної рами, яка складається з двох однакових стійок (довжиною L_2) та двох горизонтальних поперечок (довжиною L_1) (рисунок 4.1).

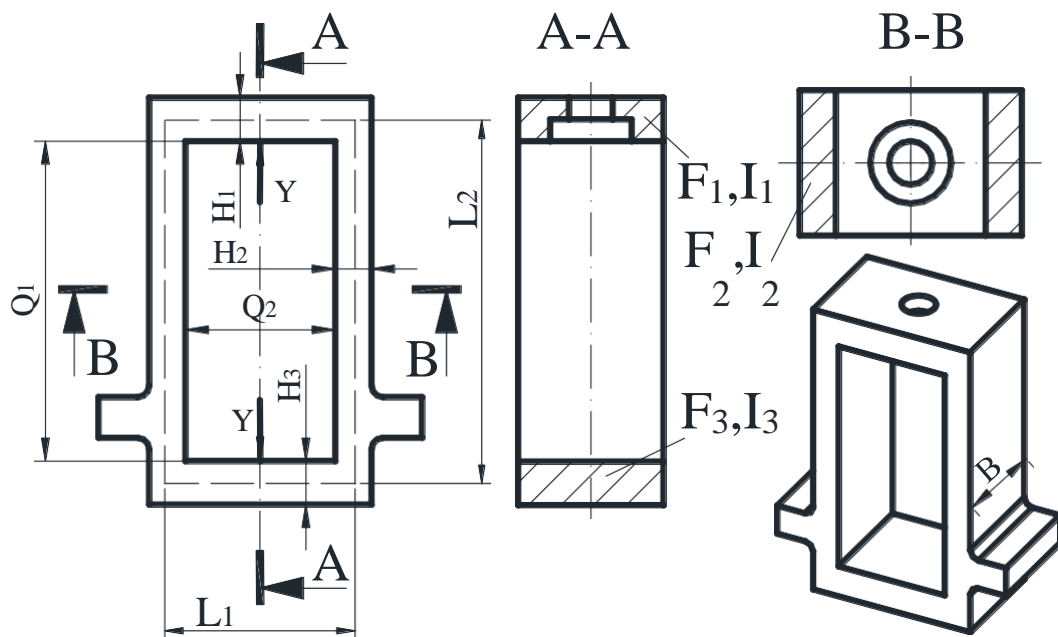


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема станини

З боку нижньої подушки валка на нижню поперечку і з боку верхньої подушки (натискного гвинта) на верхню поперечку станини діють вертикальні сили Y , що дорівнює половині максимального зусилля на валки при прокатці, тобто. $Y = P_{\max}/2$.

Під дією сил Y у кутах твердої рами виникають статично невизначені моменти M_1 та M_3 . Ці моменти згинають стійки всередині вікна станини, а поперечки проти дії сил Y .

Статично невизначені моменти M_1 та M_3 визначимо таким чином. Представимо тверду раму розрізаної в кутах, що утворює чотири вільні двоопорні балки. Для врахування впливу жорстких кутів у з'єднаннях поперечок зі стійками прикладемо до відрізаних балок у опорах моменти M_1 і M_3 . Отже, система стала статично визначеною.

Так як в жорсткій рамі опору в кутах належать поперечині довжиною $L_1=L_3$ і стійці (довжиною L_2), їх кути повороту повинні бути рівні між собою. Рівня $\theta_1=\theta_{21}$ і $\theta_3=\theta_{23}$ отримаємо такі формули для статично невизначених моментів [10]:

$$\frac{-p}{()} \frac{()}{()}, \quad (4.1)$$

$$\frac{-p}{()} \frac{()}{()}, \quad (4.2)$$

де $n=l_1/l_3$; $m= l_1/l_2 \times L_2/L_1$.

$$p \frac{()}{()}. \quad (4.3)$$

Поперечки піддаються вигину від дії сил Y та моментів M_1 та M_3 . Розрахуємо згинальні моменти та напруження у середині верхньої поперечки:

$$M_v = M_p - M_1; \sigma_v = M_v / W_1; \quad (4.4)$$

в середині нижньої поперечки:

$$M_n = M_p - M_3; \sigma_n = M_n / W_3; \quad (4.5)$$

де W_1, W_3 – моменти опору середніх перерізів верхньої та нижньої поперечок.

Для середнього, по висоті стійки, горизонтального перерізу сумарне напруження дорівнюватиме:

$$\sigma_{\max} = \frac{Y}{2F_2} + \frac{M_1 + M_3}{2W_2}, \quad (4.6)$$

де F_2 і W_2 – площа та момент опору перерізу В-В стійки (див. рис. 4.1).

Вихідні дані для розрахунку станини:

- ширина вікна $B_0 = 1390$ мм;
- ширина перерізу стійки $B_1 = 790$ мм;
- товщина перерізу стійки $C_2 = 700$ мм.

Розміри перерізу верхньої поперечки:

- висота перерізу $H_1 = 1040$ мм;
- ширина перерізу $C_1 = 1840$ мм;
- малий діаметр розточки $d_1 = 520$ мм;
- великий діаметр розточки $d_2 = 800$ мм;
- висота розточки малого діаметру $H_2 = 350$ мм;
- висота розточки великого діаметру $H_3 = 710$ мм.

Розміри перерізу нижньої поперечки:

- висота $H_4 = 1200$ мм;
- ширина $C_3 = 700$ мм;
- сила, що діє на один натискний гвинт $Y = 15$ МН.

Розглянемо переріз А-А (рис. 4.2). Розіб'ємо складний переріз на три простих.

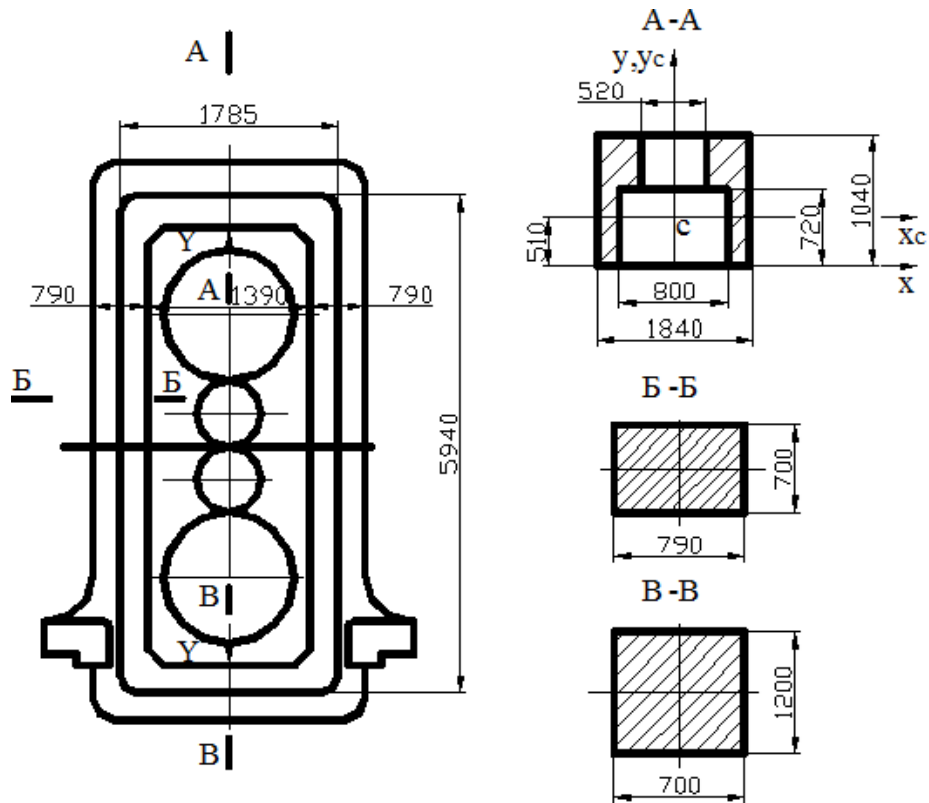


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема станини

Знайдемо координати центру тяжкості перерізу, за допоміжну систему координат приймемо XY:

$$\frac{\sum \dots}{\sum} \text{ мм,}$$

$$\frac{\sum \dots}{\sum} \text{ мм.}$$

Визначимо момент інерції складного перерізу A-A:

$$\sum (\dots);$$

$$* \dots (\dots) +$$

$$* \dots (\dots) +$$

$$* \frac{\pi}{4} (\quad) + \quad \text{мм}^4 = 0,1077$$

$$\text{М}^4;$$

$$\frac{\quad}{(\quad)} \text{М}^3.$$

Визначимо моменти інерції та моменти опорів для перерізів Б-Б та В-В (рис. 4.2):

$$\frac{\pi}{4} (\quad) \text{М}^4;$$

$$\frac{\pi}{4} (\quad) \text{М}^3;$$

$$\frac{\pi}{4} (\quad) \text{М}^4;$$

$$\frac{\pi}{4} (\quad) \text{М}^3.$$

Визначимо максимальний момент вигину верхньої та нижньої поперечок силою $Y = 15 \text{ МН}$ за формулою (4.3):

$$n \frac{\pi}{4} (\quad) \text{МНм}$$

Знаходимо статично невизначені моменти в кутах жорсткої рами за формулами (4.1) та (4.2):

$$n = I_1/I_3 = 0,1077 / 0,1 = 1,077;$$

$$m = I_1/I_2 \times L_2/L_1 = 0,1077 / 0,02 \times 5,94 / 1,785 = 17,9.$$

$$\frac{\pi}{4} (\quad) \text{МНм}$$

$$\frac{\pi}{4} (\quad) \text{МНм}$$

Визначаємо напруження розтягування в середині верхньої та нижньої поперечок за формулами (4.4) та (4.5):

$$\begin{aligned} M_B &= 6,7 - 0,199 = 6,5 \text{ МНм}; \\ \sigma_B &= 6,5 / 0,2 = 32,5 \text{ МПа}; \\ M_H &= 6,7 - 0,222 = 6,478 \text{ МНм}; \\ \sigma_H &= 6,478 / 0,168 = 38,6 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Розраховуємо напруження розтягування в стійці станини за формулою (4.6):

$$\sigma_{\max} = \frac{15}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,79} + \frac{0,199 + 0,222}{2 \cdot 0,06} = 17 \text{ МПа}.$$

Запас міцності станини для нижньої поперечки при межі міцності вуглецевої литої сталі ($\sigma_B = 600 \text{ МПа}$; $n = 600 / 17 = 35$; $[n] = 10$).

Міцність станини забезпечена.

Розрахунок станини на твердість.

Пружна деформація станини у вертикальному напрямку є сумою деформації прогину двох поперечок та розтягування стійки станини.

Відомо з курсу опору матеріалів, що результуючий прогин поперечок (балки) жорсткої рами від вигину силою Y та моментом M_1 (M_3) дорівнює:

для верхньої поперечки

$$f_B = \frac{L_1^2}{8 \cdot E \cdot I_1} \cdot \left(\frac{Y \cdot L_1}{6} - M_1 \right) = \frac{48 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_1} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{M_1}{Y \cdot L_1} \right), \quad (4.7)$$

$$v = \frac{M_3 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \left(1 - \frac{6 \cdot Y \cdot L_1}{M_3} \right) \quad m = 0,075 \text{ мм.}$$

для нижньої поперечки

$$f_H = \frac{L_1^2}{8 \cdot E \cdot I_3} \cdot \left(\frac{Y \cdot L_1}{6} - M_3 \right) = \frac{48 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \cdot \left(1 - 6 \cdot \frac{M_3}{Y \cdot L_1} \right), \quad (4.8)$$

$$h = \frac{M_3 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \left(1 - \frac{6 \cdot Y \cdot L_1}{M_3} \right) \quad m = 0,08 \text{ мм.}$$

п н в'

п

мм.

Так як поперечка має велику товщину в порівнянні з довжиною L_1 , то необхідно врахувати пружну деформацію в середині кожної поперечки від дії поперечних сил, що перерізають, відповідно формулі:

$$v = \frac{M_3 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \left(1 - \frac{6 \cdot Y \cdot L_1}{M_3} \right),$$

$$h = \frac{M_3 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \left(1 - \frac{6 \cdot Y \cdot L_1}{M_3} \right),$$

$$p = \frac{M_3 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \left(1 - \frac{6 \cdot Y \cdot L_1}{M_3} \right), \quad (4.9)$$

де $k = 1,2$ (для прямокутного перерізу балки-поперечки);

$$G = 3 / 8 \cdot E = 0,75 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

$$p = \frac{M_3 \cdot L_1^3}{48 \cdot E \cdot I_3} \left(1 - \frac{6 \cdot Y \cdot L_1}{M_3} \right) \quad m = 0,21 \text{ мм.}$$

Деформація від розтягування стійки станини силою Y дорівнює:

$$\frac{Y \cdot L_1}{E}, \quad (4.10)$$

де E – модуль пружності; для сталевого лиття $E = 2,1 \times 10^5$ МПа.

$$m = 0,38 \text{ мм.}$$

Сумарна вертикальна деформація станини:

$$\epsilon_{cm} = \left(\frac{\Delta B}{B} \right) + \left(\frac{\Delta H}{H} \right) \cdot \pi \cdot \pi, \quad (4.11)$$

mm.

Сумарна деформація станини по вертикалі (у напрямку) не повинна перевищувати стан холодної прокатки 0,6-1,0 мм (при $\gamma=5-15$ МН).

На практиці пружні властивості станини зручніше характеризувати не величиною пружної деформації при заданому зусиллі γ , а так званою пружною жорсткістю (або модулем жорсткості C , МН/мм):

$$\epsilon_{cm} = \frac{\gamma}{C}, \quad (4.12)$$

яка показує, при якому зусиллі γ деформація дорівнюватиме 1 мм.

$$C \text{ МН/мм.}$$

4.2.2 Розрахунок валків кліті кварто на міцність та деформацію

При прокатуванні тиск металу з робочих валків передається на опорні та сприймається їх підшипниками. Завдяки великій твердості опорних валків прогинання їх (і робочих валків, що спираються на них) буде незначним, і профіль смуги, який прокочується, матиме прямокутний переріз (з досить невеликою різнотовщинністю по ширині смуги).

При прокатці смуга згинатиме як опорні, так і робочі валки (рисунок 4.3).

Виконаємо розрахунок робочих та опорних валків чотиривалкової кліти стану [10].

Вихідні дані для розрахунку:

- максимальне зусилля на валки під час прокатування смуги шириною 1500 мм $P=30$ МН;
- максимальний момент одному валку $M_{кр}=2,3$ МНм.

Розрахунок валків на міцність.

Визначимо розподіл зусилля між робочими та опорними, враховуючи те, що мінімальний діаметр валків після перешліфування дорівнює $D_p = 692$ мм, $D_{оп} = 1270$ мм.

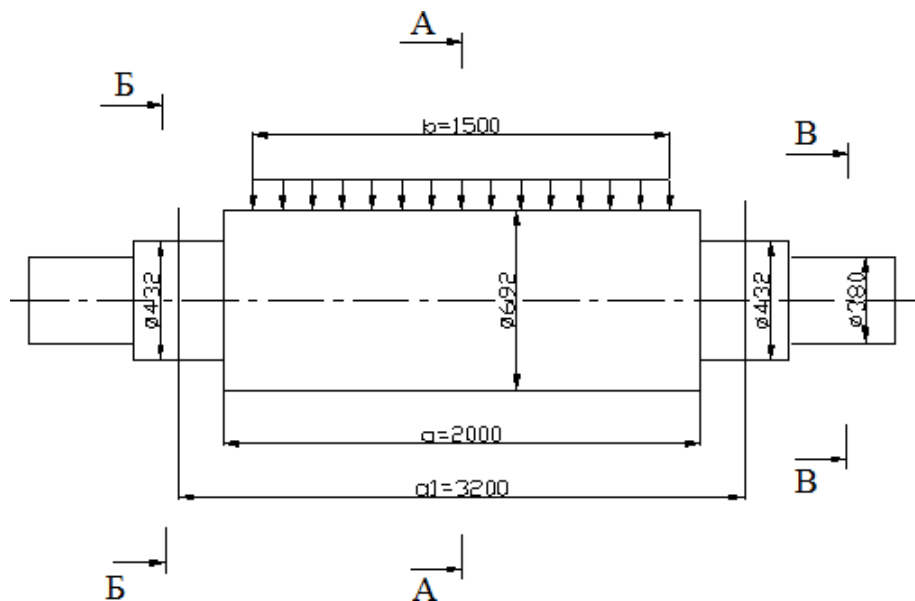
$$(D_{оп} / D_p)^4 = (1,27 / 0,692)^4 = 11,3;$$

$$\frac{P_{оп}}{P_{р}} = 11,3; \tag{4.13}$$

$$P_{оп} = 339 \text{ МН};$$

$$P_{р} = 30 \text{ МН}; \tag{4.14}$$

$$P_{р} = 30 \text{ МН.}$$



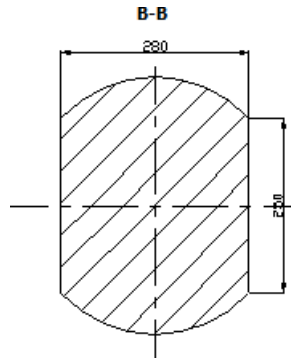


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема для розрахунку робочого валка

Таким чином, робочі валки сприймають тільки $(2,44/30) 100\% = 8,1\%$ від загального тиску на валки при прокатці.

Знаходимо напруження у робочому валку при $a_1 = 2390$ мм.

Максимальний згинальний серед бочки від вертикального зусилля P_p (переріз А-А) (див. рис. 4.3):

$$M = \left(\dots \right) \left(\dots \right) \text{ кНм.}$$

Максимальне напруження вигину посеред бочки валка:

$$\frac{M}{\dots} \text{ МПа.}$$

Робочий валок виготовлений із легованого чавуну, для якого $[\sigma_{\text{в}}] = 85-100$ МПа.

$\sigma < [\sigma_{\text{в}}]$ – міцність робочого валка забезпечена.

Напруження кручення на шийці ведучого валка (перетин Б-Б) (див. рис. 4.3):

$$\frac{M_{\text{к}}}{\dots} \text{ МПа.}$$

Під час розрахунку робочих валків перевірі підлягає і приводний кінець (перетин В-В) (див. рис. 4.3).

Напруга кручення у зазначеному перерізі дорівнює:

$$k_p \frac{M_k}{k_p} ;$$

Хвостовик на приводному кінці подаємо у вигляді прямокутника $b \times h$ і двох сегментів F_c :

$$\begin{aligned} & \text{---} (\quad - \quad \text{---}) \\ & (\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---}) \quad \text{мм}^2; \\ & \text{---} \quad \text{---} \quad \text{мм}. \end{aligned}$$

Замінюємо переріз В-В прямокутником з висотою $H = 2 \cdot y_c = 283,8$ мм. Момент інерції перерізу на кручення при $\eta = 0,21$ і $H / b \approx 1$ буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} & k_p \quad \text{мм}^3; \\ & \text{---} \quad \text{МПа}. \end{aligned}$$

Міцність робочого валка забезпечена, оскільки [] МПа.

Визначаємо напруження в опорному валку (рисунок 4.4).

Максимальний можливий момент і напруження посеред бочки валка (переріз А-А) знаходимо за формулою:

$$\begin{aligned} M_{оп} & \text{---} (\quad \text{---}) \quad \text{МНм}; \\ \frac{M_{оп}}{\text{---}} & \text{---} \quad \text{МПа}. \end{aligned}$$

Напруження вигину в перерізі Б-Б (рис. 4.4):

(оп) () МПа.

Опорний валок виготовлений із сталі 9ХФ, $[\sigma_{зг}] = 140-150$ МПа:
 $\sigma < [\sigma_{зг}]$ – міцність опорного валка забезпечена.

Розрахуємо контактне напруження в поверхневому шарі валків.

Так як робочі валки виготовлені з легованого загартованого чавуну, для якого $E_p = 1,1 \cdot 10^5$ МПа, а опорні - сталеві, то приведений модуль пружності дорівнює:

$$E_{пр} = \frac{2 \cdot E_p \cdot E_{оп}}{(E_p + E_{оп})} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 2,1 \cdot 10^{10}}{(1,1 + 2,1) \cdot 10^5} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

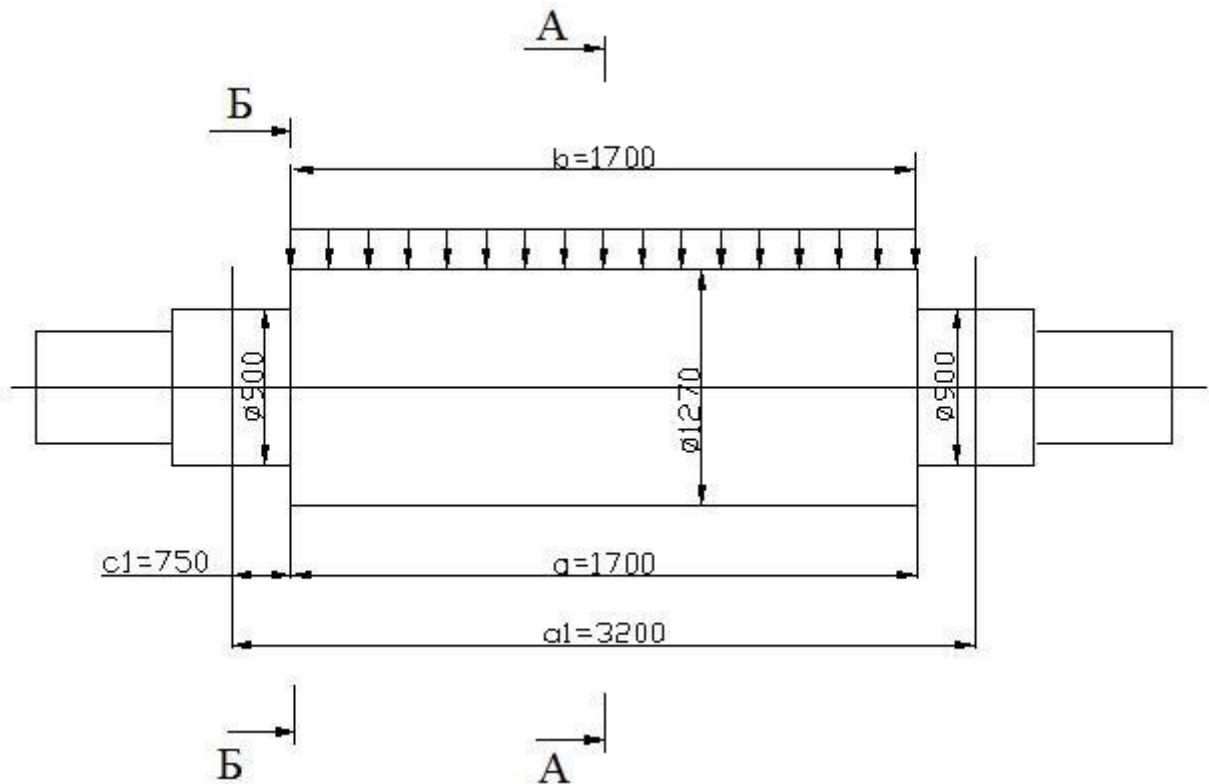


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема для розрахунку опорного валка

Наведений радіус валків:

$$R_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot R_p \cdot R_{\text{оп}}}{(R_p + R_{\text{оп}})} = \frac{2 \cdot 346 \cdot 635}{346 + 635} = 448 \text{ мм};$$

_____ $\frac{\text{оп}}{\text{пр}}$ _____ Н/мм.

Контактне напруження буде доівнювати:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{F_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}}}} \sqrt{\frac{F_{\text{оп}}}{R_{\text{оп}}}} \text{ МПа};$$

$[\sigma_k] = 1500 \text{ МПа}$, тобто $\sigma_k < [\sigma_k]$.

Розрахунок валків на деформацію.

Визначаємо прогин опорного валка.

$$f = f_1 + f_2,$$

де f – сумарний прогин валка; f_1 - прогин у результаті дії згинальних моментів; f_2 - прогин внаслідок дії поперечних сил.

Відповідно до формул О. І. Целікова [10]:

$$f_1 = \frac{M}{EI} \cdot l^3 \cdot \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{2} \right); \quad (4.15)$$

$$f_2 = \frac{F \cdot l^2}{2EI} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right); \quad (4.16)$$

де E , G – модуль упругости и модуль сдвига для материалов валков;

$I_1 = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 1,274^4}{64} = 0,04 \text{ м}^4$ – момент інерції перерізу бочки валка;

$I_2 = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,6924^4}{64} = 0,003 \text{ м}^4$ – момент інерції перерізів шийки валка.

Різниця прогинів у середині бочки валка і по краю смуги, що прокочується, що виникає під дією згинальних моментів (Δf_1) та поперечних сил (Δf_2), визначають за формулою:

$$\Delta f = \frac{M}{EI} \cdot l^3 \cdot \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{2} \right) + \frac{F \cdot l^2}{2EI} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right). \quad (4.17)$$

Підставимо чисельні значення:

$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_2} \quad \text{М;}$$

$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_2} \quad \text{М;}$$

$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\delta_1} + \frac{1}{\delta_2} \quad \text{М.}$$

Сумарний прогин опорного валка по середині бочки:

$$m = 5,3 \text{ мм.}$$

Визначаємо пружне сплющування в місці контакту опорного та робочого валків за формулою:

$$\delta = 1,3 \cdot \frac{q}{E_{\text{пр}}} \cdot \left[\frac{1}{1,65} \cdot (D_1 + D_2) \cdot \frac{E_{\text{пр}}}{q} \right], \quad (4.18)$$

$$\delta = 1,3 \cdot \frac{q}{E_{\text{пр}}} \cdot \left[\frac{1}{1,65} \cdot (D_1 + D_2) \cdot \frac{E_{\text{пр}}}{q} \right] \quad \text{ММ.}$$

Сумарне пружне радіальне контактне сплющування двох пар валків робочої чотиривалкової кліті:

$$\delta_k = 2 \cdot \delta = 2 \cdot 0,75 = 1,5 \text{ мм.}$$

Загальна деформація валкової системи чотиривалкового стану може бути визначена з виразу:

$$\epsilon_y \quad (\quad) \quad (\quad) \quad \kappa \quad (4.19)$$

де f_1 – стріла прогину опорного валка від дії згинальних моментів;

f_2 – стріла прогину опорного валка від дії поперечних сил;

– різницю в прогинах середини і краю бочки опорного валка від дії згинальних моментів;

– різницю в прогинах середини та краю бочки опорного валка від дії поперечних сил;

δ_k – сумарне пружне радіальне контактне сплющування двох пар валків робочої чотиривалкової кліті;

В формулу (4.19) величина (\quad) входить з мінусом, так як вона характеризує прогин бочки опорного валка на ділянці між її серединою і краєм, і компенсується зазвичай профілюванням бочки робочого валка, якому додають необхідну опуклість для забезпечення рівнотовщинності смуги по ширині; опуклість робочого валка компенсує q сплющування δ_k .

Загальна деформація валкової системи:

ϵ_y

мм.

4.3 Розрахунок основних вузлів та механізмів

4.3.1 Розрахунок підшипників робочого валка

Визначимо довговічність роликкових чотирирядних підшипників робочих валків.

Вихідні дані для розрахунку:

- зовнішній діаметр підшипника $D = 571,5$ мм;
- діаметр внутрішнього кільця підшипника $d=431,8$ мм;

- коефіцієнт динамічної вантажопідйомності $C = 5850$ кН;
- радіальне навантаження $Q = 1220$ кН;
- коефіцієнт безпеки $K_B = 2$;
- швидкість прокатки $12,5$ м/с.

Кутова частота обігу валків:

$$\frac{\omega}{2\pi} = \frac{v}{d} \quad ;$$

$$\omega = \frac{2\pi v}{d} \quad \text{об/хв.}$$

Визначимо довговічність підшипника за формулою:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{Q} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{60 \cdot n}{10^6} \quad ; \quad (4.20)$$

$$L_{10} = \left(\frac{5850}{1220} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{60 \cdot \frac{2\pi \cdot 12,5}{0,4}}{10^6} \quad ;$$

$$L_{10} = \left(\frac{5850}{1220} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{60 \cdot 240}{10^6} \quad ;$$

$$L_{10} = 115 \text{ тис. годин.}$$

4.3.2 Розрахунок електромеханічного натискного пристрою

- Виконаємо розрахунок електромеханічного натискного пристрою робочої кліті.
- Вихідні дані для розрахунку:
 - різьблення натискного гвинта УП-480*12 мм;
 - максимальне зусилля на один натискний гвинт $Y = 15$ МН.
- Визначимо міцність натискного гвинта та різьблення. Натискний гвинт має упорне різьблення УП 480 мм з кроком $s = 12$ мм
- Діаметри різьблення:
 - Зовнішній діаметр $d = 480$ мм;
 - внутрішній діаметр $d \sim d - 1,7s = 480 - 1,7 \cdot 12 = 459,6$ мм;
 - середній діаметр $d_2 = d - 0,75s = 480 - 0,75 \cdot 12 = 471$ мм.

Кут підйому різьблення:

Напруження стиснення в перерізі нижнього опорного кінця гвинта, що має найменший діаметр $d_n = 430$ мм:

$$\sigma_{сж} = \frac{4 \cdot Y}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 15}{\pi \cdot 0,43^2} = 103 \text{ МПа};$$

Матеріал гвинта – сталь 40ХН. Напруження, які допускаються, на стиск матеріалу гвинта можна прийняти рівним $[\sigma] = 120-150$ МПа.

$\sigma_{сж} < [\sigma]$ – міцність гвинта забезпечена.

Напруження кручення в тілі гвинта при $M_v = 2,5$ кНм.

$$\frac{M_e}{\dots} \text{ МПа.}$$

Висота натискної гайки $H = 720$ мм, зовнішній діаметр $D = 800$ мм, кількість витків різьблення:

Напруження зминання між витками гвинта та гайки:

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot Y}{\pi \cdot (d^2 - d_{отв}^2)} \cdot z = \frac{4 \cdot 15 \cdot 10^6}{\pi \cdot (480^2 - 459,6^2)} \cdot 60 = 16,6 \text{ МПа.}$$

Напруження зминання по площі контакту гайки зі станиною:

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot Y}{\pi \cdot (D^2 - d_{отв}^2)} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 10^6}{\pi \cdot (800^2 - 520^2)} = 51,7 \text{ МПа.}$$

Матеріал гайки – БрАЖ9-4Л, $[\sigma] = 80$ МПа.

У період пауз між перепустками металу через валки на торці натискних гвинтів діє зусилля з боку пристрою для врівноваження верхніх опорного та робочого валків. На один гвинт це зусилля складе:

$$H = 70 \text{ кН,}$$

де G – вага деталей, що врівноважуються.

Момент, необхідний для обертання гвинта під час пауз, знайдемо за формулою при $\mu_n = 0,1$; $d_n = 430$ мм; $d_{cp} = 471$ мм; $\mu_p = 0,08$; $\varphi = 4^\circ 34'$:

При опусканні гвинта:

$$M_{\text{в}} = Y_1 \cdot \mu_n \cdot \frac{d_n}{2} \cdot \frac{d_{cp}}{2} \cdot \left(\frac{1}{\cos \varphi} + \mu_p \right) \cdot \left(\frac{1}{\cos \varphi} + \mu_p \right)$$

= 2,95 кНм;

де Y_1 – сила, що діє на гвинт;

d_n – діаметр п'яти натискного гвинта;

μ_n – коефіцієнт тертя в п'яті;

d_{cp} – середній діаметр натискного гвинта;

φ – кут підйому різьблення;

μ_p – кут тертя в різьбленні між гайкою та гвинтом.

При підйомі гвинта:

$$M_{\text{в}} = Y_1 \cdot \mu_n \cdot \frac{d_n}{2} \cdot \frac{d_{cp}}{2} \cdot \left(\frac{1}{\cos \varphi} + \mu_p \right) + Y_2 \cdot \frac{d_n}{2} \cdot \frac{d_{cp}}{2} \cdot \left(\frac{1}{\cos \varphi} + \mu_p \right)$$

= 2,65 кНм;

Пружна деформація натискного гвинта:

$$\Delta l = \frac{M_{\text{в}} \cdot l}{E \cdot I}, \quad (4.21)$$

де h – найбільша довжина гвинта, що деформується, від підп'ятника до натискної гайки: $h = 100$ мм, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

$$\Delta l = \frac{M_{\text{в}} \cdot l}{E \cdot I} \quad \text{мм.}$$

Пружна деформація натискної гайки:

$$\Delta l = \frac{N \cdot H}{E \cdot A}, \quad (4.22)$$

де $H = 720$ мм – висота гайки;

$D = 800$ мм – зовнішній діаметр гайки.

$$\Delta l = \frac{N \cdot H}{E \cdot A} \quad \text{мм.}$$

Сумарна пружна деформація системи натискної гвинта-гайки:

$B \quad B \quad \text{мм.}$

5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОКАТАНОГО ПРОКАТУ

Розрахунок величини витрат на виконання технологічного процесу

Розрахунок витрат на електроенергію.

Річні витрати на силову електроенергію, що споживається технологічним обладнанням, визначаються за формулою:

$$\text{-----}, \quad (5.1)$$

де P_{Σ} – сумарна встановлена потужність електродвигунів прокатного обладнання, кВт;

– річний обсяг часу прокатки, станко-година;

– коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії у мережі заводу, приймають за даними заводу $K_{\text{ве}} = 1,04 \dots 1,06$;

– коефіцієнт завантаження електродвигунів прокатного обладнання в часі, орієнтовно $K_{\text{ч}} = 0,7 \dots 0,9$;

– коефіцієнт використання електродвигунів прокатного обладнання за потужністю, орієнтовно $K_{\text{в}} = 0,8 \dots 0,97$;

– коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів прокатного обладнання, зазвичай $K_{\text{од}} = 1$;

– ККД електродвигунів прокатного обладнання;

– ціна 1 кВт · год електроенергії, грн.

Параметр								
Значення	42660	6200	1,05	0,8	0,8	1,0	0,9	4,0

$$\text{-----} \quad 789,95 \cdot 10^6 \text{ грн} = 790 \text{ млн. грн.}$$

Розрахунок витрат на воду технічну.

Витрати на технічну воду визначаються за заводськими даними, виходячи з потреб на технологічні процеси за формулою:

$$\text{---}, \quad (5.2)$$

- де – годинна витрата води технічної на випуск 1 т прокату;
– ціна за одиницю норми витрати технічної води, грн;
– годинна продуктивність стану, тон/год;
– коефіцієнт виконання норми.

Параметр					
Базовий варіант	0,3	800000	0,8	2,23	0,9
Після модернізації	0,3	760000	0,8	2,23	0,9

Базовий варіант:

$$\text{---} \dots\dots\dots 0.60 \cdot 10^6 \text{ грн} = 0.60 \text{ млн. грн.}$$

Після модернізації:

$$\text{---} \dots\dots\dots 0.57 \cdot 10^6 \text{ грн} = 0.57 \text{ млн. грн.}$$

Розрахунок витрат на стиснене повітря.

Витрати на стиснене повітря визначаються, виходячи з потреб у ньому пневматичних штовхачів, підйомних машин, за формулою:

$$\text{---}, \quad (5.3)$$

- де Д – кількість приймачів стисненого повітря;
– питома витрата стисненого повітря при безперервному закінченні через один приймач, м³/г;
– коефіцієнт використання установки, середнє значення дорівнює 0,3...0,5;
– ціна 1 м³ стисненого повітря, грн.;
– коефіцієнт, що враховує витік повітря в мережі, орієнтовно =1,15.

Параметр					Д			
Базовий варіант	0,3	800000	0,8	0,45	7	0,4	1,15	5
Після модернізації	0,3	760000	0,8	0,45	7	0,4	1,15	5

Базовий варіант:

_____ $2,18 \cdot 10^6$ грн = 2,18 млн. грн.

Після модернізації:

_____ $2,07 \cdot 10^6$ грн = 2,07 млн. грн.

Витрати на допоміжні матеріали

Витрати на допоміжні матеріали, що витрачаються безпосередньо під час виробництва прокату, визначаються за формулою:

$$\left(\quad \quad \quad \right) , \quad (5.4)$$

де - витрати на кисень грн/тонна прокату;

- витрати на паливо, що витрачається при вогневій зачистці прокату, грн/тонну прокату;

- витрати на технологічне мастило, грн/тонну прокату;

- витрати на маркування та пакування прокату, грн/тонну прокату;

- витрати на інші матеріали, що витрачаються безпосередньо під час виробництва прокату, грн/тонну прокату.

Параметр						
Базовий варіант	0	800000	0	0.9	0,75	0,85
Після модернізації	0	760000	0	0.9	0,75	0,85

Базовий варіант:

(.....)..... $2.0 \cdot 10^6$ грн = 2.0 млн. грн.

Після модернізації:

(.....)..... $1.9 \cdot 10^6$ грн = 1.9 млн. грн.

Розраховуються укрупнено за такою формулою:

$$, \quad (5.6)$$

де $K_{\text{дод}}$ - коефіцієнт, що враховує величину додаткової заробітної плати;

Базовий варіант:

Після модернізації:

Відрахування на соціальне страхування.

Розраховуються укрупнено за такою формулою:

$$(\quad) , \quad (5.7)$$

де $K_{\text{с.с}}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування, приймається рівним 0,22.

Базовий варіант:

$$(\quad)$$

Після модернізації:

$$(\quad)$$

Знос змінного обладнання, інструментів, інвентарю.

За цією статтею враховують витрати валків, валкової арматури та інструменту за формулою:

$$, \quad (5.8)$$

де ----- річна витрата змінного обладнання, шт.;

----- ціни на змінне обладнання, грн.;

Л - виторг від ліквідації брухту, грн.:

$$, \quad (5.9)$$

де ----- маса замінного протягом року обладнання, т;

----- ціна 1 т металобрухту, грн;

,

Загальновиробничі витрати визначимо через витрати на заробітну платню основних робочих за формулою:

Базовий варіант:

Після модернізації:

Усі розрахунки щодо визначення технологічної собівартості виготовлення прокату на базовому та проектованому (модернізованому) технологічному обладнанні зведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технологічна собівартість

Статті витрат	Варіант		Зміни
	базовий	новий	
Витрати на матеріали			
Витрати електроенергію			
Витрати на воду технічну			
Витрати на стиснене повітря			
Витрати на допоміжні матеріали			
Зарплата робітників, що обслуговують технологічне обладнання			
Додаткова заробітна плата виробничих робітників			
Відрахування на соц. страхування			
Знос змінного обладнання, інструменту, інвентарю			
ЗВВ			
Собівартість 1 тони прокату			
Собівартість 1 кг прокату			
Ціна 1 кг прокату			
ПДВ			
Прибуток на 1 кг прокату			
Прибуток за рік, млн. грн			

Висновок: за рахунок зниження продуктивності стану, а також використання природних ресурсів собівартість продукції зростає на 5,32 коп. за 1 кг, але за рахунок підвищення її якості і вартості очікуваний прибуток складає 7,71 млн. грн. за рік.

6 ПИТАННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Для забезпечення безпечних умов праці в цеху холодної прокатки виконуються стандарти з забезпечення чистоти повітря ССБТ "Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони", забезпечення відповідності параметрів мікроклімату ССБТ «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони», забезпечення відповідності освітлення робочої зони вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення», забезпечення відповідності рівня шуму на робочому місці ССБТ «Шум. Загальні вимоги безпеки», забезпечення відповідності рівня вібрації на робочому місці ССБТ «Вібраційна безпека. Загальні вимоги», забезпечення відповідності рівня електромагнітних полів ССБТ «Електричні поля промислової частоти. Допустимі рівні напруженості та вимоги до проведення контролю на робочих місцях» та ССБТ «Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні на робочих місцях та вимоги до проведення контролю», забезпечення електробезпеки ССБТ «Електробезпека. Загальні вимоги", забезпечення пожежної та вибухової безпеки ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги» та ССБТ «Вибухобезпека. Загальні вимоги", забезпечення безпеки обладнання ССБТ «Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки» та «Устаткування ковальсько-пресове. Загальні вимоги безпеки», забезпечення безпеки процесів ССБТ «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки», ССБТ «Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки», забезпечення організації робочого місця ССБТ «Устаткування виробниче. Загальні ергономічні вимоги», ССБТ «Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць», забезпечення відповідності

пульта керування вимогам «Система «Людина – машина». Пульти керування. Загальні ергономічні вимоги».

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У прокатному виробництві небезпечними виробничими факторами є валки, що обертаються, шпинделі, муфти прокатного стану; відлітають уламки матеріалу, що прокочується, викиди петлі.

Шкідливі виробничі фактори – пил, шум, висока температура повітря у виробничих приміщеннях.

Психофізіологічними небезпечними та шкідливими факторами є фізичні та нервово-психічні навантаження (розумова перенапруга, монотонність праці, емоційні навантаження).

Вміст пилу повітря в клітей листових станів становить від 200 до 2400 г/м³. Переміщення холодних листів по роликах транспортних рольгангів є основною причиною виникнення шуму, що досягає 110 дБ.

Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних процесів, інтенсивністю вантажопотоків, що зумовлює високу інтенсивність праці персоналу прокатних цехів. Це призводить до великої розумової втоми, що пов'язано з помилками в управлінні механізмами та виникнення небезпечних ситуацій.

Стан обладнаний в головній частині механізмами для подачі рулонів до стану, упаковки рулонів та їх збирання. Відгиначі кінця рулону, що працюють у комплексі з правильними роликками, забезпечують надійність подачі кінця рулону без зісковзування та обриву кінця рулону. Механічні та електричні механізми, призначені для відгинання кінця рулону, такої надійності не мають.

Іноді натяг при прокатці на заправній та робочій швидкостях перевищують допустиме для даного матеріалу. І тут виникає урвищ смуги простий чи складний, коли частина лінії невизначених обрисів

вилітає по складній траєкторії, створюючи небезпека поразки персоналу. Швидкість вильоту шматка смуги сягає понад 15 м/с, тобто. Швидкості прокатки на стані. Такі обриви виникають при зміні режиму натягу, а й у результаті наявності дефектів смуги (дір, полон, заходів, рваної кромки та інших.). При холодній прокатці такі дефекти є концентраторами напруги та сприяють обривам смуги. Тому особливу увагу слід приділяти якості гарячекатаних смуг, проводити огляд вихідних матеріалів та видаляти дефектні ділянки. Це сприятиме підвищенню рівня безпеки під час холодної прокатки.

На підлозі робочої зони стану виникають масляні плями через розбризування технологічного мастила та витоків мастила обладнання стану. Це створює небезпеку падіння персоналу та отримання травм.

Завдяки високій механізації та автоматизації, стан холодної прокатки забезпечує безпеку праці персоналу, ручна праця практично відсутня.

Для усунення впливу небезпечних факторів на небезпечних ділянках передбачено:

- огороження;
- блокування;
- сигналізація;
- вентиляція;
- індивідуальні засоби захисту робітників.

Робоче місце оператора розташоване у закритій кабіні, що забезпечує захист від впливу шкідливих факторів: шуму, пилу. При цьому забезпечено: параметри мікроклімату згідно з ДСТУ Б EN 15251:2011; освітленість на пульті – щонайменше 400 лк.

ВИСНОВКИ

Розглянуті особливості станів холодної прокатки. Наведено склад обладнання та технологію прокатки безперервного стану холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь». За допомогою ЕОМ був розрахований раціональний режим обтиснень, визначені швидкісні режими прокатки та енергосилові параметри процесу. Виконано розрахунок техніко-економічних показників виробництва холоднокатаної смуги. Розрахунок продуктивності стану показав, що обраний режим роботи стану забезпечує продуктивність 817 тис. тон на рік. Описане основне обладнання робочої кліті. Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність основних елементів конструкції робочої кліті. Встановлені залежності поперечної та повздожньої різнотовщинності від куту перехрещення валків, сили протизгину та дозгину робочих валків. Сформульовані рекомендації з удосконалення процесу прокатки на стані 1680. Виконані економічні розрахунки, що показали доцільність удосконалення технологічних режимів з річним прибутком 7,71 млн. грн., але з економією витрат дефіцитних природних ресурсів. Розглянуті питання з охорони праці в цеху холодної прокатки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Jingwei Zhao, Zhengyi Jiang Rolling of Advanced High Strength Steels: Theory, Simulation and Practice/ Taylor & Francis: Routledge and CRC Press, 2021, 644 p
- 2 Metallurgical Design of Flat Rolled Steels/ Vladimir B. Ginzburg.- Taylor & Francis: Routledge and CRC Press, 2019.-726p
- 3 Mazur V. L. , Nogovitsyn O. V. Theory and Technology of Sheet Rolling. Numerical Analysis and Applications. CRC Press. 2020. 494 p.
- 4 Gupta N. K. Steel Rolling: Principle, Process & Application. CRC Press. 2021.526 p.
- 5 Ніколаєв В. О. Технологія виробництва сортового та листового прокату : підручник. Частина II / В. О. Ніколаєв, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2000. – 220 с.
- 6 William L. Roberts Cold Rolling of Steel.- New York and Basel: CRC Press, 1978. -808 p.
- 7 Іванченко Ф.К. та ін. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: Навч. посібник / Ф.К. Іванченко, В.М. Гребеник, В.І. Ширяєв. – К.: Вища школа. – 1995. – 455 с.
- 8 Бережна О. В., Малигіна С. В., Грибков Е. П. Комп'ютерне моделювання та оптимальне проектування: навч. посіб. - Краматорськ:ДДМА,2020 .-132 с.-978-966-379-932-2

9 Бережна О. В., Малигіна С. В., Грибков Е. П. Системи автоматизованого проектування : навч. посіб. - Краматорськ:ДДМА,2020 .-96 с.-978-966-379-933-9

10 Основи автоматизованого проектування технологічного обладнання. Лабораторний практикум : посібник [для студентів технічних спеціальностей] / Е. П. Грибков. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 67 с. -978-617-7889-21-1

ДОДАТОК А ВІДБИТКИ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ

Кулік Т.О., Папазов В.М. Удосконалення технологічних режимів прокатки смуг на стані холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь». *Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 грудня 2023 р., м. Одеса. – Одеса: 2023. – С. 168-169.*

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ
ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ АСОЦІАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІВ-МАШИНОБУДІВНИКІВ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ. В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
ТОВ ХК «MICRON»
ПАТ «ОДЕСЬКИЙ КАБЕЛЬНИЙ ЗАВОД «ОДЕСКАБЕЛЬ»
ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР «ВАРИУС»
ТОВ «ІМПЕРІЯ МЕТАЛІВ»

НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції

6-7 грудня 2023 року

Одеса – 2023

Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні:
Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 грудня 2023 р., м. Одеса. – Одеса: 2023. – 387 с.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

- 1 Перспективні технології та виробничі процеси майбутнього
- 2 Сучасні ресурсозберігаючі технології
- 3 Мікро- та нанотехнології в промисловості
- 4 Високопродуктивні інструменти та процеси у матеріалобробці
- 5 Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні та енергетиці
- 6 Метрологічне забезпечення нових та нетрадиційних технологій
- 7 Екологоенергетичні нетрадиційні технології та перспективні напрями їх розвитку
- 8 Технологічна динаміка
- 9 Методологічні питання вищої освіти у галузі нових технологій
- 10 Динаміка і міцність машин
- 11 Наукові питання галузевого машинобудування.

Матеріали представлені в авторській редакції.

© Національний університет «Одеська політехніка»
© Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
© Всеукраїнська громадська організація Асоціація технологів-машинобудівників України

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРОКАТКИ СМУТ НА СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ 1680 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Викліною продукцією для холодної прокатки служать рулонні гарячекатаної штаби товщиною 1.5... 6.0 мм, що надходять з широкоштабових станів гарячої прокатки [1]. Безперервний 4-х клітвовий стан 1680 складається з 4-х послідовно розташованих клітв Кварто та допоміжного обладнання. Стан оснащений системами контролю товщини смуги, контролю профілю робочих валків та протигнання робочих валків, регулювання товщини смуги в поздовжньому напрямку.

Оптимізація технологічних режимів обтиснення при холодній прокатці відноситься до найважливіших факторів, що забезпечують підвищення техніко-економічних показників процесу прокатного виробництва загалом.

Безпосередньо як цільові функції при оптимізації технологічних режимів обтиснення були використані математичні моделі процесу холодної прокатки, організовані на виконанні критеріїв повного завантаження механічного обладнання.

Програмне забезпечення вирішення поставленої задачі оптимізації було здійснено на основі алгоритмічного методу цілеспрямованого перебору варіантів, аналітичний опис якого може бути представлений у вигляді [3]:

$$\Delta h_{(k+1)} = \Delta h_k + A_{\text{sign}}[x_k - x_{0k}]$$

де h_k – величина абсолютного обтиснення смуги в i -му проході; k – порядковий номер чергового циклу ітеративної процедури рішення; Δh – крок зміни величини абсолютного обтиснення, кількість оцінок якого була прийнята змінною залежно від ступеня застосування проміжних результатів до вихідного; $[x_k]$ – задані значення параметрів $[P]$, $[N]$, $[M]$ безпосередньо пов'язаних із прийнятим критерієм оптимальності.

Враховуючи викладене вище та виходячи з логіки функціональних зв'язків між величиною абсолютного обтиснення та енергосиловими параметрами процесу прокатки, розв'язання задачі оптимізації за умовою повного завантаження механічного обладнання можна надати у вигляді послідовних покрокових прирощень $\Delta h_{(k+1)} = \Delta h_k + 0.01 \cdot h_{0k}$ у разі одночасного виконання кожної з умов: $P_k \leq [P]$, $M_k \leq [M]$, $N_k \leq [N]$.

У разі невиконання хоча б однієї з цих умов змінюючи величину покрокового збільшення

$$\Delta h_{(k+1)} = \Delta h_k - 0.01 \cdot h_{0k}$$

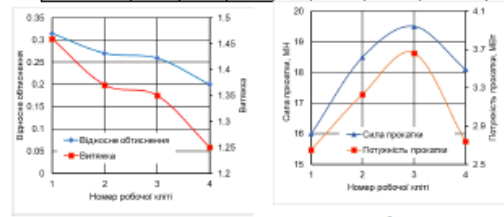
де h_{0k} – вихідна товщина смуги в даному проході.

Таким чином, може бути визначено абсолютне обтиснення, що відповідає умові забезпечення максимально допустимого завантаження і, як наслідок,

умови досягнення максимальної продуктивності механічного обладнання конкретних прокатних станів. Числові результати розрахунку наведено у таблиці 1, а графічні – на рис. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку енергосилових параметрів

Номер кліти	h_0 , мм	h_1 , мм	ϵ	λ	V , м/с	P , МН	N , МВт
I	2.7	1.85	0.315	1.46	2.19	16	2.65
II	1.85	1.35	0.27	1.37	3.00	18.5	3.23
III	1.35	1.0	0.26	1.35	4.05	19.5	3.66
IV	1.0	0.8	0.2	1.25	5.06	18.1	2.74



Рисунки 1 – Розвиток деформаційних (а) та енергосилових (б) показників по робочих валках

За допомогою ЕОМ був розрахований раціональний режим обтиснення, визначені швидкісні режими прокатки та енергосилові параметри процесу.

Висновок: на основі автоматизованого розрахунку технологічних режимів прокатки визначено режими, що дозволяють здійснити прокатку смуги в один пропуск з врахуванням потужності електродвигунів головного приводу та забезпечити продуктивність стану на рівні 817 тис. тон на рік.

ЛІТЕРАТУРА

- Zhao J., Jiang Z. Rolling of Advanced High Strength Steels: Theory, Simulation and Practice. Taylor&Francis: Routledge and CRC Press, 2021. 644 p.
- Грибков Е. П. Основы автоматизованного проектирования технологического оборудования. Лабораторный практикум : пособие [для студентов технических специальностей]. Краматорск : ДДМА, 2021. 67 с.

Hrudkina N.S., Malii Kh.V., **Papazov V.M.** Mathematical simulation of rolling processes by pressure using maple computer mathematics systems. International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 2. P. 230-232. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-154>

International scientific conference

MININGMETALTECH 2023 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION

November 29–30, 2023

Volume 1



International scientific conference

субоптимального алгоритма PL-log-MAP. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2016. № 5. С. 76–84.

5. Robertson P., Villebrun P., Hoehner P. Optimal and Sub-Optimal Maximum A Posteriori Algorithms Suitable for Turbo Decoding. *European Transactions on Telecommunications*, 1997. V. 8. P. 119–125.

6. Zhang L., Yu S.-Z. A Simplified log-MAP Turbo Decoder by Fitting Method. *Proceedings in IEEE International Conference on Advanced Communication Technology*, 2005. V. 2. P. 854–857.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-154>

MATHEMATICAL SIMULATION OF ROLLING PROCESSES BY PRESSURE USING MAPLE COMPUTER MATHEMATICS SYSTEMS

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОКАТКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ MAPLE

<p>Hrudkina N.S. DSc (Engineering), Associate Professor, LLC "Technical university "Metinvest polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine</p>	<p>Грудкіна Н.С. д.т.н., доцент, ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна</p>
<p>Malii Kh.V. PhD (Engineering), LLC "Technical university "Metinvest polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine</p>	<p>Малій Х.В. к.т.н., ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна</p>
<p>Parazov V.M. student (group 135R-22-1m), LLC "Technical university "Metinvest polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine</p>	<p>Папазов В.М. студент гр. 135П-22-1м, ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна</p>

Однією з умов підвищення ефективності навчання у закладах вищої освіти є вдосконалення математичної підготовки та активне

International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education" : conference proceedings (November 29–30, 2023, Riga, the Republic of Latvia), Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2023. Vol. 1. 272 pages.

Program Committee

Head of the Program Committee – Yuri RYZHENKOV – CEO, LLC "METINVEST HOLDING"

Deputy Head of the Program Committee – Oleksandr POVAZHNYI – Doctor of Economics, Professor, Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Secretary of the Program Committee – Maksym KARAKAI – PhD in Public Administration, Academic Secretary, LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Oleksandr MYRONENKO – Operations Director, LLC "METINVEST HOLDING"

Tetiana PETRUK – HR & Organizational Development Director, LLC "METINVEST HOLDING"

Otha OVCHYNNYKOVA – Director of Economics and Business Systems Development, LLC "METINVEST HOLDING"

Yulia DANKOVA – Chief Financial Officer, LLC "METINVEST HOLDING"

Svidlana ROMANOVA – Chief Legal Officer, LLC "METINVEST HOLDING"

Andrii YEMCHENKO – PhD in Engineering, Chief Technology Officer, LLC "METINVEST HOLDING"

Dmytro TEVELIEV – CEO Advisor, LLC "METINVEST HOLDING"

Oleksii KOMLYK – member of the Supervisory Board

Oleksandr PIMKIN – Director of the Department of Organizational Management and Compensation Management, LLC "METINVEST HOLDING"

Oleksandr PODKORYTOV – Chief Technology and Quality Officer, LLC "METINVEST HOLDING"

Pavlo VZBEK – Director of the Department of Labor Safety, Industrial Security and Environmental Protection, LLC "METINVEST HOLDING"

Vitalii KOVALENKO – Director of the Department of Sustainability Development and Environmental Management, LLC "METINVEST HOLDING"

Maria VASYLIEVA – CEO, LLC "METINVEST SICHSTEEL"

Gregory MASON – Head of the Supervisory Board

Andrii KOSTRYZHEV – Project Manager – Material Characterization Scientist, The University of Queensland

Organizational Committee

Head of the Organizing Committee – Volodymyr KUKHAR – Doctor of Engineering, Professor, Professor at the Department of Metallurgy, Materials Science and Industrial Management, Vice Rector for Research, LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Deputy Head of the Organizing Committee – Nataliia REKOVA – Doctor of Economics, Professor, First Vice Rector – Vice Rector for Academic Affairs, LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Secretary of the Organizing Committee – Ekaterina MALII – PhD in Engineering, Head of the Research Department, LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Kostiantyn MOISEIENKO – PhD in Economics, Associate Professor, Head of the Department of Education Quality Management and International Projects, LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Iryna SHKRABAK – Doctor of Economics, Professor, Dean of the Faculty of Mining and Metallurgy, LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC"

Riga, the Republic of Latvia

November 29–30, 2023

використання систем комп'ютерної математики (СКМ) як під час викладання суто математичних дисциплін, так і під час опанування студентами освітніх компонентів з розвинутою математичною складовою [1]. Основні цілі, які можуть бути при цьому досягнуті, полягають у можливості уявлення отриманих результатів, що полегшує сприйняття та аналіз отриманих відповідей, стимулювання навичок побудови математичних моделей процесів та явищ, розвитку алгоритмічного мислення та зменшення витрат на розрахунок «вручну», розвитку системного мислення, творчих та дослідницьких здібностей студентів.

До найуживаніших та потужних СКМ можна віднести Maple (Waterloo Maple, Inc Канада), що вдосконалювалася на протязі багатьох років та має одне з найкращих символічних ядер, забезпечує високу точність обчислень, при цьому має розвинений графічний інтерфейс та надає можливість введення математичних виразів у «природній» математичній формі, підтримує роботу з базами даних та за рахунок взаємодії з САД-системами надає можливість візуалізації складних об'єктів, подальшого креслення на основі результатів обчислень [1, 2]. В умовах російської агресії компанія Waterloo Maple надала пакет безкоштовних ліцензій на використання своїх програмних продуктів протягом попереднього та цього років як викладачам, так і студентам ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», і запропонувала тренінги та консультації з підвищення ефективності використання Maple в навчальному процесі. Здобувачі вищої освіти при виконанні практичних робіт мають можливість контролювати розрахунки, проведених «вручну», використовувати запропоновані моделі-шаблони, що відтворюють основні етапи розв'язання, геометричної інтерпретації та аналізу отриманих результатів. На рис. 1 наведено фрагмент листингу та відображення частини отриманих результатів, в тому числі з геометричною інтерпретацією.

```

restart; H0 := 20; B := 2000; R := 500; f := 0.25;
V := 3;80 = 0; S1 := 0; rho := 7800; sigma := 68.9;
a1 := 0.135; a2 := 0.164; a3 := -2.8;
h1 := H0*(1 - varepsilon); &Delta;h := H0 - h1;
L := sqrt(R* &Delta;h + &Delta;h^2/4);
hcr := 0.5*(H0 + h1);
alpha0 := arccos(1 - &Delta;h/(2*R));
Vc := V*varepsilon*L;
Kc := 1.155*sigma*(6.67*varepsilon)/a1*
Vc*a2*(T/1000)^a3;
n1 := 1 + 0.2*(L/hcr - 1); Pcr := Kc*n1;
P := Pcr*B*L; psi := 0.6 - 0.15*sqrt(L/hcr - 0.7);
M := 2*P*psi*L; N := M*V/R;
N := 5.08*651108*10^13*varepsilon^0.135*
(varepsilon/sqrt(varepsilon)^2
100*varepsilon)^0.164*
(0.8 - 2.0*sqrt(varepsilon)^2 + 100*varepsilon)/
(20.0 - 10.0*varepsilon)*(varepsilon)^2
100*varepsilon*
(0.6 - 0.15*sqrt(10*sqrt(varepsilon)^2
100*varepsilon))
20.0 - 10.0*varepsilon - 0.7))T^2.8
plot3d(N, varepsilon = 0.1 .. 0.4, T = 800 .. 1100)

```

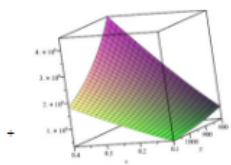


Рис. 1. Фрагменти програми розрахунку в Maple: лістинг (а); графічна інтерпретація результатів розрахунку (б)

Після опанування основних навичок роботи в СКМ Maple на основі запропонованих алгоритмів (для стимулювання дослідницької компетентності самостійно, починаючи з етапу побудови математичної моделі, розробки алгоритму та використовуючи елементи програмування) студентам пропонується реалізувати розрахунки для підготовки індивідуальних завдань з використанням Maple. Отримані навички побудови математичних моделей процесів пластичного деформування з подальшим створенням розрахункових модулів стануть фундаментом успішного виконання кваліфікаційної роботи та сприятимуть розвитку дослідницької складової майбутнього фахівця.

Перелік використаних джерел

1. Нікітенко О.М. Maple: Розв'язання інженерних та наукових задач: Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2011. 289 с.
2. Maple. URL: <http://www.maplesoft.com/products/Maple/index.aspx>