

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Розрахунок і конструювання головної лінії чотиривалкової
кліті широкоштабового стана гарячої прокатки при прокатуванні штаби
завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08пс**

Виконав: студент V курсу, групи 6.1369-м-з
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

С. В. Пеленов

(ініціали та прізвище)

Керівник

доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н. В.М. Проценко

Рецензент

доц. каф. МТЕТБ, доц., к.т.н. О.С. Воденнікова

Запоріжжя – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**Запорізький національний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 136 «Металургія»
(код та назва)
Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБЮ.О. Белоконь“ 12 ” 02 2024 року**ЗАВДАННЯ****НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**Пеленову Сергію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) ***Розрахунок і конструювання головної лінії чотиривалкової кліті широкоштабового стана гарячої прокатки при прокатуванні штаби завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08вс***

керівник роботи (проекту) Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 12. 23 р. № 2212-с2. Строк подання студентом роботи 24 травня 2024 року3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація ЦХП-1 і ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки.

Мета кваліфікаційної роботи – конструювання головної лінії чотиривалкової кліті прокатного стану, розробка заходів щодо підвищення площинності гарячекатаної штаби завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08пс.

Провести теоретичні дослідження розрахункових формул щодо точності їх використання, виконати розрахунок енергосилових параметрів прокатки і основних елементів головної лінії прокатного стану. Запропоновано заходи щодо підвищення площинності штаб, які можуть бути реалізовані при реконструкції ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою, підвищення якості продукції, зменшення енерговитрат і втрат металу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки залежностей, схеми головної лінії прокатної кліті і основних її елементів, результати моделювання процесу гарячої прокатки штаби тощо.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання 12.02.2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	12.02.24 – 13.03.24	
2.	Розділи 2 - 3	16.03.24 – 17.04.24	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	20.04.24 – 24.05.24	

Студент

_____ (підпис)

Пелєнов С. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

_____ (підпис)

Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка бакалаврської роботи містить: 86 с., 14 рис., 5 табл.; використано літературних джерела 24.

Об'єкт дослідження – обладнання листопрокатних цехів, зокрема ПАТ «Запоріжсталь», розрахунок і конструювання головної лінії чотиривалкової кліті прокатного стану, площинність штаби і система її регулювання.

Метою бакалаврської роботи є конструювання головної лінії чотиривалкової кліті прокатного стану, розробка заходів щодо підвищення площинності гарячекатаної штаби завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08пс.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime 9, Excel. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020.

Отримані результати і їх новизна – у результаті теоретичних досліджень було виявлено, що розрахунок коефіцієнту плеча моменту за формулою О.І. Целікова є більш точним для прокатки штаб ніж розрахунок за формулою В.О. Ніколаєва, що підтверджується порівнянням розрахункових і опитних даних, отриманих при дослідіах іншими авторами. Точність розрахункових формул сильно впливає на правильність визначення потужності головного приводу кліті, розміри основних деталей головної лінії прокатного стану, а також на раціональні режими деформації.

Виконано розрахунок енергосилових параметрів прокатки і основних елементів головної лінії прокатного стану. Запропоновано заходи щодо підвищення площинності штаб, які можуть бути реалізовані при реконструкції ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою, підвищення якості продукції, зменшення енерговитрат і втрат металу.

ПРОКАТКА, ГОЛОВНА ЛІНІЯ, ШТАБА, ПЛОЩИННІСТЬ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, ВАЛКИ, СТАНИНА, ПЛЕЧЕ МОМЕНТУ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	7
1.1 Енергосилові параметри прокатки і методи визначення коефіцієнту плеча моменту при прокатуванні штаб	7
1.2 Фактори, що впливають на крутний момент прокатки і коефіцієнт плеча моменту	19
1.3 Розподіл контактних напружень по довжині дуги контакту ...	22
1.4 Аналіз диференційного рівняння прокатки	23
1.5 Теоретичне визначення нормального напруження у точці дуги контакту по О.І. Целікову	27
1.6 Теоретичне визначення нормального контактного напруження у точці дуги контакту за формулою В.О. Ніколаєва	30
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
2.1 Характеристика прокатного виробництва та технологічного обладнання	33
2.2 Розрахунок і конструювання головної лінії чотиривалкової кліті широкоштабового стану гарячої прокатки при прокатуванні штаби завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08пс	36
2.2.1 Установка кліті	36
2.2.2 Напруження в деталях кліті та їх деформації	37
2.2.3 Сумарна деформація та модуль жорсткості кліті	44
2.2.4 Навантаження, які допускаються кліттю	44
2.3 Загальне компонування головної лінії прокатної кліті	47
2.4 Управління площинністю штаби у лінії стану гарячої прокатки на основі візуального контролю	49
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	57
3.1 Алгоритм розрахунку коефіцієнта плеча моменту	57
3.2 Розрахунок параметрів осередку деформації і енергосилових параметрів прокатки	57

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	70
4.1 Характеристика потенційних, небезпечних та шкідливих виробничих факторів	70
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	73
4.3 Заходи з електробезпеки	78
4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки	80
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84

ВСТУП

Значне підвищення якості металопродукції і в тому числі напівфабрикатів з легованих сталей, що отримуються за допомогою процесів прокатки, ковки, штамповки тощо, підвищення їх структури і службових характеристик, зниження їх металоємності, створення більш продуктивних технологічних процесів і підвищення рентабельності їх виробництва – є важливішою задачею сучасності.

Для досягнення цього повинні бути створені більш сучасні процеси деформування зливків, заготовок, поковок, покращення їх деформуємості за рахунок створення більш сучасних, науково-обґрунтованих технологічних процесів, що враховують і фізико-хімічні, і структурні особливості різноманітних марок сталей і сплавів.

Формоутворення листа є складною функцією не тільки поздовжньої і поперечної різнотовщинності, але і цілого ряду інших факторів, що залежать від технології, конструкції прокатного стану, систем електроприводу і автоматизації. Введення в експлуатацію нових і реконструкція діючих прокатних станів вимагає створення методології розрахунку параметрів оптимального налаштування стану для прокатки штаб тільки планшетної (рівної) форми і з мінімальною небезпекою розривів і утяжки штаб під дією натягіння. Така методологія необхідна для проектування і налагодження систем автоматизації тонкоштабових станів.

В останні роки було опубліковано декілька робіт стосовно теорії і практики точної прокатки штаб, в яких досить докладно досліджено поздовжню і поперечну різнотовщинність і меншою мірою форма листа.

У цьому зв'язку дана бакалаврська робота, направлена на конструювання головної лінії чотиривалкової кліті прокатного стану, розробку заходів щодо підвищення площинності гарячекатаної штаби завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08пс є актуальною і корисною.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Енергосилові параметри прокатки і методи визначення коефіцієнту плеча моменту при прокатуванні штаб

Для розрахунку параметрів деталей робочої кліті і розрахунку деформаційних режимів прокатки штаб необхідно в першу чергу визначити силу, момент і потужність прокатки.

Сила прокатки - це сума контактних нормальних напружень металу на валки у осередку деформації і величина її обумовлена напруженням плинущу металу, впливом зовнішніх сил тертя (коефіцієнтом тертя) і розмірами осередку деформації. Теоретично силу прокатки можна визначити за формулою [1]:

$$P = p_{cp} \cdot B \cdot l_d \quad (1.1)$$

де p_{cp} - середнє нормальне контактне напруження, Н/мм²;

B - ширина штаби, мм;

l_d - довжина дуги контакту, мм.

Для простого випадку прокатки , коли умови деформації на нижньому і верхньому валках однакові момент прокатки для одного валка розраховується за формулою [1]:

$$M = P \cdot a \quad (1.2)$$

де a - плече моменту, яке прийнято визначати як деяку частину довжини осередку деформації:

$$a = \psi \cdot l_d \quad (1.3)$$

де ψ - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча сили прокатки.

Таким чином, для одного валка маємо:

$$M = P \cdot \psi \cdot l_d \quad (1.4)$$

Отже теоретичний розрахунок моменту прокатки за формулою (1.4) можливий при відомих величинах сили прокатки P і плеча моменту "а" або коефіцієнта ψ . Плече моменту можна визначити з епюр нормальних контактних напружень.

Знання величини моменту прокатки дозволяє вірно визначити потужність головного приводу, розміри основних деталей головної лінії прокатного стана, а також розрахувати раціональні режими деформації металу у валках.

Потужність, яка витрачається на прокатування штаби, розраховують за формулою [1] (для двох валків):

$$N = \frac{960 \cdot M \cdot v}{R} \quad (1.5)$$

де M - повний крутний момент для двох валків, МН·м;

v - окружна швидкість валків, м/с;

R - радіус жорсткого валка, м.

Якщо вважати, що сила прокатки P (або контактний тиск p_{cp}) задано, то основна проблема розрахунку крутного моменту зводиться до правильного визначення точки прикладання сили P , таким чином до знаходження коефіцієнта плеча моменту ψ .

Лінія дії сили P практично проходить через центр тяжкості епюри контактних напружень. Отже, коефіцієнт плеча моменту залежить від характеру розподілу напружень по дузі контакту [8,9]. При рівномірному розподілі напружень точка прикладання сили P знаходиться посередині дуги контакту і $\psi = 0,5$. Будь-яка асиметрія в розподілі тисків призводить до відхилення значення ψ від значення 0,5. При прокатуванні товстих штаб $\psi > 0,5$, так як в цьому випадку максимум напруження зміщений до площини входу. При прокатуванні тонких штаб $\psi < 0,5$, оскільки максимум напружень зміщений до площини виходу (знаходиться в нейтральному перетині).

Якщо закон розподілу тисків по дузі контакту встановлений, то значення коефіцієнта плеча моменту може бути визначено суворо аналітично.

Знаходження центра тяжкості епюр щодо площини виходу не представляє особливих труднощів. Епюру напружень, розраховану за однією з теоретичних формул (О.І. Целікова або В.А. Ніколаєва) , розбивають на ряд фігур і графічним шляхом визначають місце знаходження центру тяжкості кожної фігури (рис. 1.1). Коефіцієнт ψ плеча моменту визначають з умови збігу вертикального вектора рівнодіючої сил і центру тяжкості епюри напружень за формулами [9]:

$$\psi = \frac{a}{l_d} \quad (1.6)$$

$$a = x = \frac{x_1 S_1 + x_2 S_2 + x_3 S_3 + \dots + x_n S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n} \quad (1.7)$$

де $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ - відстань від площі виходу до центрів тяжкості фігур;

$S_1, S_2, S_3 \dots S_n$ - площі фігур епюри.

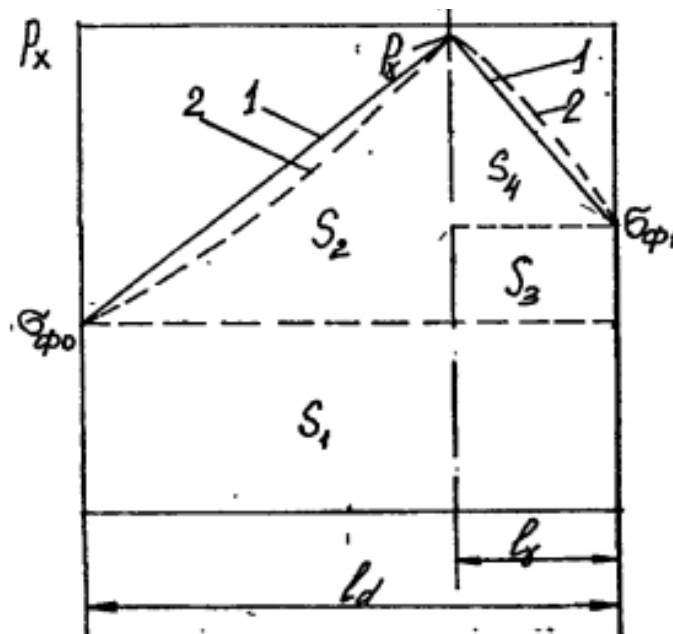


Рисунок 1.1 - Схема розподілення нормального контактного напруження по дузі контакту

При прокатуванні тонких штаб з високими нормальними напруженнями відбувається сплющування валків. В результаті цього збільшується довжина дуги контакту, змінюється відношення f/α і збільшується площа епюри нормальних напружень. Оскільки сплющування в основному спостерігається на виході металу з осередку деформації, то приріст площі епюри напружень відбувається головним чином вправо від критичного перетину. Це сприяє зміщенню центру ваги і, отже, точки докладання рівнодіючої сил до площини виходу металу з валків і зменшення коефіцієнта плеча моменту щодо довжини дуги контакту. Величина зміщення точки прикладання рівнодіючої тим більше, чим більше сплющування валків.

Цей зсув точки прикладання рівнодіючої сил на валки, викликаний стисненням останніх зображено на рис.1.2.

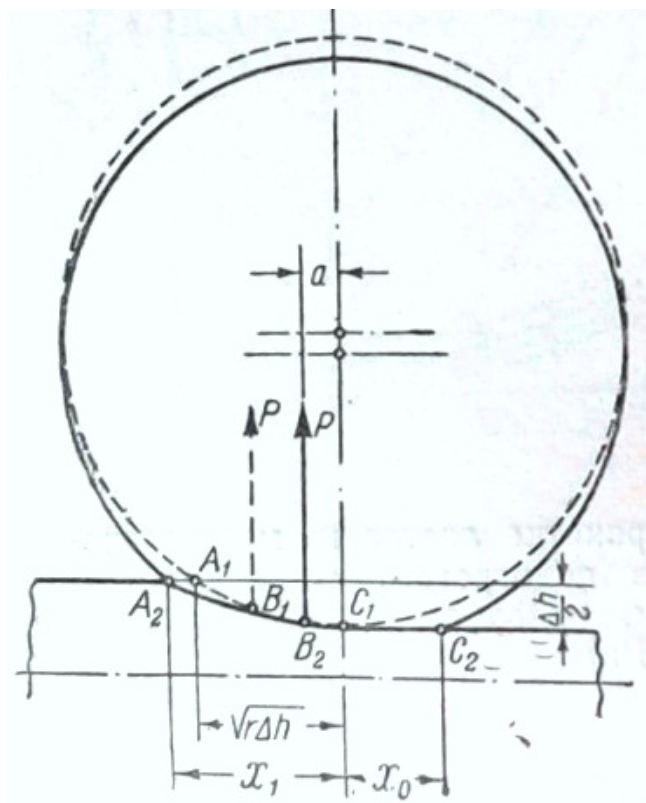


Рисунок 1.2 - Зміщення точки прикладання рівнодіючої сил на валки у зв'язку з пружним сплющенням валків

При жорстких валках рівнодіюча сил на валки прикладена у точці B_1 , яка знаходиться поблизу середини ідеальної довжини дуги контакту A_1C_1 , а при деформованих валках вона буде прикладена у точці B_2 , яка розташована поблизу середини дійсної дуги захоплення A_2C_2 .

В результаті пружного стиснення валків збільшується питомий тиск через підвищений вплив на нього зовнішнього тертя і великої довжини дуги контакту. Тому пружне стиснення валків буде викликати підвищення моменту прокатки, але лише за рахунок підвищення питомого напруження [12]. Розхід енергії при прокатуванні у цьому випадку також збільшується у зв'язку з зростанням моменту прокатки і більшою втратою на тертя у підшипниках валків.

Але якщо b нормальне напруження залишалось незмінним, то пружне стиснення валків не оказувало b впливу на момент прокатки.

Розрахунок коефіцієнта плеча моменту для тонких штаб проводиться лише з тією різницею, що всі параметри осередку деформації повинні визначатися з урахуванням сплющування валків [9]. Знайдений таким чином коефіцієнт ψ дасть відношення плеча моменту до сплющеної дуги контакту, тобто:

$$\psi_c = \frac{a_c}{l_c} \quad (1.8)$$

На підставі обробки епюр нормальних напружень коефіцієнт ψ відносно довжини дуги l_c , необхідний для розрахунку крутного моменту, дорівнює [8, 12]:

$$\psi_c = \psi \left(l_d / l_c \right)^2 \quad (1.9)$$

і достовірність цього виразу підтверджується дослідними даними.

При $l_d / l_c = 1$ коефіцієнт ψ відповідає прокатуванню без урахування пружних деформацій валків і штаби.

Крутний момент при холодному прокатуванні штаб для одного валка визначають за виразом:

$$M = P\psi_c l_c \quad (1.10)$$

При прокатуванні штаб з $p_{cp} < 250$ Н/мм² (без пружного сплющування валків) розраховують коефіцієнт ψ , а для прокатки штаб з урахуванням пружного деформування валків і штаби розраховують коефіцієнт ψ_c . О.І. Целіков і ін. відзначають, що пружні деформації валків і штаби викликають збільшення крутного моменту, але тільки лише в результаті збільшення контактного напруження. При цьому плече моменту щодо вертикальної осі валків дещо зменшується і визначається з виразу:

$$a = \psi \sqrt{R \cdot \Delta h + x_2^2} - x_2(1 - \psi) \quad (1.11)$$

де R - радіус жорсткого валка;

Δh - абсолютне обтиснення;

x_2 - приріст дуги контакту за віссю валків;

ψ - коефіцієнт плеча моменту у жорстких валках.

По даним А.А. Корольова коефіцієнт положення плеча моменту визначається за формулою [1]:

$$\psi_c = \psi \frac{e^m - 1}{e^{m_1} - 1}; \quad m = f \cdot \frac{l_c}{h_{cp}} \quad (1.12)$$

де f - коефіцієнт тертя;

ψ - коефіцієнт положення рівнодіючої;

h_{cp} - середня товщина штаби.

На основі дослідів коефіцієнт плеча моменту рекомендують розраховувати за експериментальною формулою П.І. Полухіна та інших [12]:

$$\psi_c = 0,48 \left(\frac{l_d}{l_c} \right)^2 \quad (1.13)$$

так як вона має більш простий вигляд, а теоретичні і експериментальні залежності дають однакові величини ψ_c .

Полухін П.І. та інші проводили дослід для перевірки точності виміру моменту прокатки і дотичних напружень за допомогою крапкових месдоз. Отримані епюри напружень оброблювали наступним чином: планіметром вимірювали площі епюр окремо зон відставання і випередження, знаходили для цих зон дотичні напруження і розраховували їх різницю.

За усередненими для усього осередку деформації значеннями напружень і величинам середньої дуги контакту, ширини штаби і радіуса валків знаходили момент прокатки для двох валків і порівнювали із значеннями моменту прокатки на шпинделях.

Аналогічним чином порівнювали значення сили прокатки, розраховані по епюрам і заміряні месдозами під натискними гвинтами.

Плече рівнодіючої тиску металу на валки знаходили як відношення повного моменту прокатки до подвійної величини повного тиску металу на валки, а коефіцієнт плеча ψ_c - як відношення $a_c / l_{d.c.p.}$.

Залежність коефіцієнта плеча прикладення рівнодіючої тиску металу на валки від фактора форми осередку деформації показано на рис. 1.3.

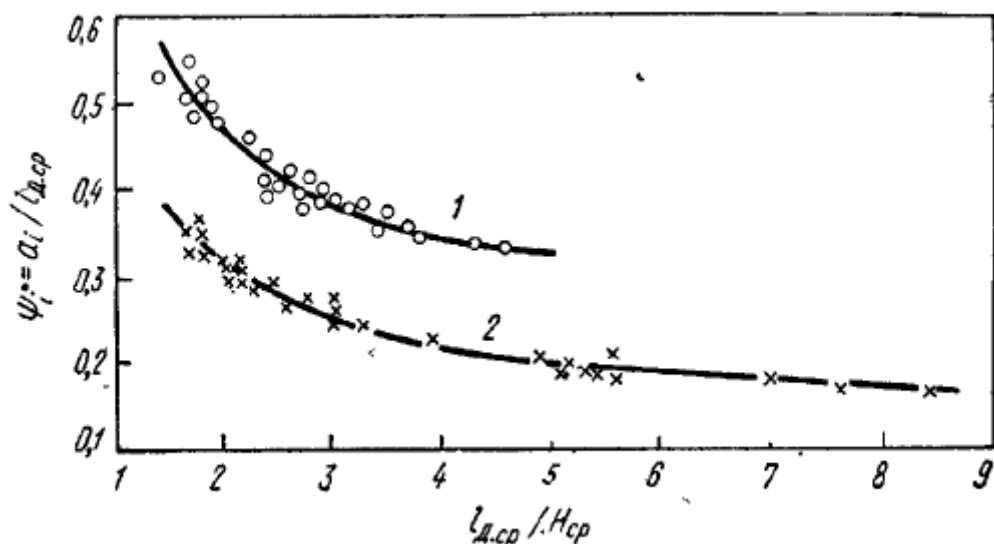


Рисунок 1.3 - Залежність коефіцієнта плеча прикладення тиску металу на валки від фактора форми осередку деформації при прокатуванні: 1 - алюмінію АІМ; 2 - сталі 08кп

При прокатуванні штаб з алюмінію з обтисненням $\varepsilon = 8-25\%$ коефіцієнт плеча складає 0,54 - 0,33 при зміні середнього по осередку фактора форми у межах 1,3 - 5,0. При прокатуванні штаб із сталі 08кп коефіцієнт плеча дорівнює 0,37 - 0,18 при зміні фактора форми від 1,6 до 8,5 і обтисненні від 4 до 27% [12].

Пружне стиснення робочих валків і відновлення штаби у вогнищі деформації при прокатуванні є причиною значного збільшення довжини дуги контакту у порівнянні із $l_d = \sqrt{R\Delta h}$. Відносне збільшення довжини дуги контакту для штаби з даного матеріалу залежить від її товщини і відносного обтиснення. У експериментах П.І. Полухіна та інших при обтисненнях $\varepsilon = 14 \div 15\%$ відносне збільшення довжини дуги мало мінімальне значення, рівне 1,3, для штаб товщиною $H_1 = 2,5$ мм і 1,6 - для штаб товщиною $H_1 = 1,2$ мм (рис. 1.4) [12].

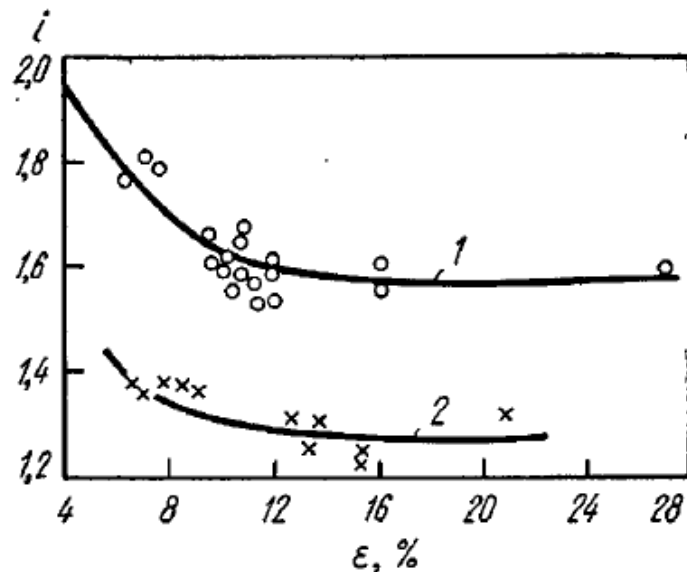


Рисунок 1.4 - Залежність відносного збільшення довжини дуги контакту металу з валком від товщини штаби і обтиснення сталей: 1 - 08кп, $H_1 = 1,2$ мм; 2 - Ст3, $H_1 = 2,5$ мм

Пружне стиснення валків і відновлення штаби у вогнищі деформації при деяких умовах може призвести до зниження моменту прокатки у результаті значного зміщення рівнодіючої тиску на валки до виходу із осередку деформації. При незначному зменшенні коефіцієнта плеча через збільшення довжини дуги контакту у наслідок сплюснення спостерігається зростання середнього нормального напруження і ріст моменту прокатки [12].

При розрахунку моменту прокатки важливо правильно вибрати коефіцієнт плеча моменту, що є найбільш складним. Отримані у дослідях Полухіна та інших дані дозволяють розрахувати деяке умовне напруження $K_c = M/R \Delta hb$, яке враховує вплив характеру розподілення контактних напружень по дузі контакту і пружного стиснення валків, а також відновлення штаби на коефіцієнт плеча. Вплив пружного стиснення валків на енергосилові параметри прокатки представлено залежністю середнього тиску від величини K_c . При прокатуванні штаб із свинцю, алюмінію, сталей 08кп без натягіння зв'язок між p_{cp} і K_c виражається прямою, кут нахилу якої до осі абсцис визначається рівнянням

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{p_{cp}}{K_c} = \frac{1}{2\psi_c(l_d/l_c)^2} = 1,05,$$

або

$$\psi_c(l_d/l_c)^2 \approx 0,48 \quad (1.14)$$

Відповідно, множення коефіцієнта плеча рівнодіючої метала на валки, з урахуванням пружного стиснення валків і відновлення штаби на квадрат відносного збільшення довжини дуги контакту - величина постійна, рівна приблизно 0,5:

$$\psi_c(l_d/l_c)^2 = 0,5. \quad (1.15)$$

Порівняння залежностей між ψ_c і l_d/l_c , отриманих за результатами експерименту, з розрахованими за формулою (1.15), показано на рис. 1.5.

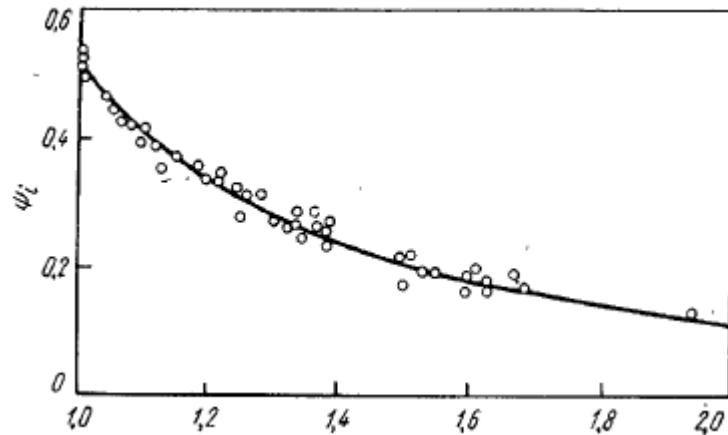


Рисунок 1.5 - Залежність коефіцієнта плеча моменту від відносного збільшення довжини дуги контакту: точки - результати експерименту П.І. Полухіна та інших; крива - розрахунок за формулою (1.15)

У випадку пружних деформацій валків і штаби коефіцієнт ψ визначають по величинам l_c , γ_c , a_c (з урахуванням пружних деформацій валків і штаби, останні кліті широкоштабових станів гарячої прокатки, стани холодної прокатки штаб)

Н.М. Кирилін [4] знайшов значення коефіцієнта плеча моменту, використовуючи рівняння О.І. Целікова при припущенні $\sigma_T = \text{const}$. У результаті отримав залежність коефіцієнта плеча моменту від обтиснення $\frac{\Delta h}{h_0}$ і величини $\delta = 2\mu \frac{l_d}{\Delta h}$. Отримані формули мають складний вид, внаслідок чого Н.М. Кирилін для визначення коефіцієнта плеча моменту запропонував діаграму, яка представлена на рис 1.6.

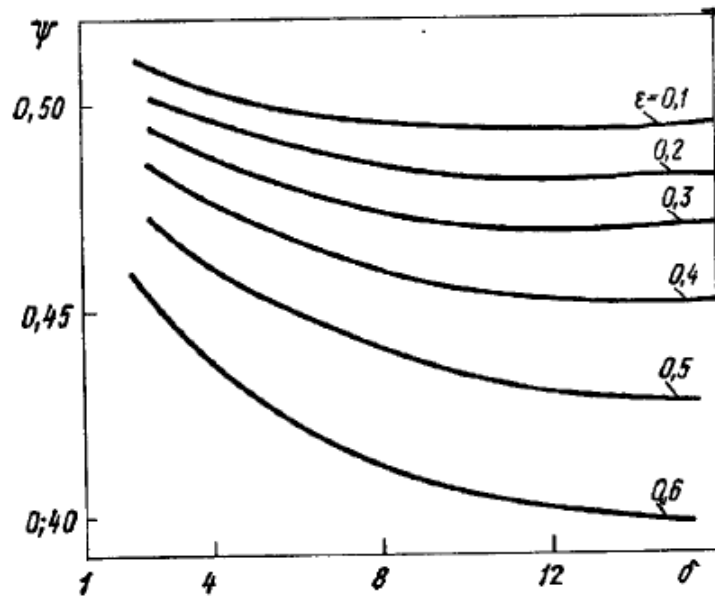


Рисунок 1.6 - Теоретичні значення коефіцієнта плеча моменту, розраховані по рівнянням розподілення напружень А.І. Целікова

У більшості випадків коефіцієнт плеча моменту визначають по експериментальним даним. На рис.1.7 наведені результати дослідження П.Л. Клименко [4], котрий для визначення залежності $\psi = \varphi(l_d / h_{cp})$ використовував експериментальні епюри розподілу контактних нормальних напружень по дузі контакту, отримані при прокатуванні свинцевих і сталевих зразків.

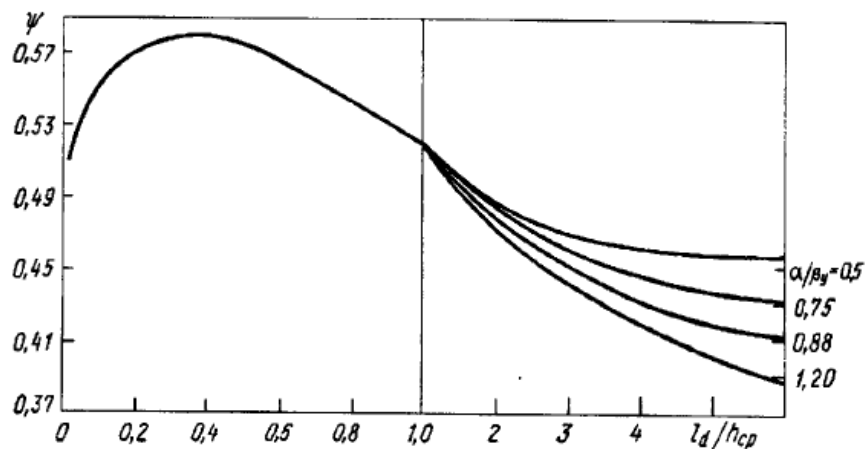


Рисунок 1.7 - Коефіцієнт плеча моменту по експериментальним даним П.Л. Клименко

Як видно з графіка на рис. 1.7, максимальне значення $\psi = 0,58$ відповідає фактору форми $l_d / h_{cp} \approx 0,4$. У діапазоні $l_d / h_{cp} = 1,0 \div 1,5$ значення ψ приблизно дорівнює 0,5. При $l_d / h_{cp} > 1,5$ маємо $\psi < 0,5$, причому зі збільшенням відношення α / β_y коефіцієнт ψ декілька знижується. Останнє пояснюється зміщенням нейтрального перетину і піку напружень до площини виходу.

За дослідними даними Г. Валквіста [4] під час гарячої прокатки ($t = 800 \div 1100^\circ\text{C}$) зразків з низьковуглецевої сталі коефіцієнт плеча моменту знаходиться в межах $0,34 \div 0,47$. Більш високі значення ψ були отримані при прокатуванні відносно товстих зразків з малими обтискуваннями.

При холодному прокатуванні коефіцієнт плеча моменту в більшості випадків знаходиться в межах $0,2 \div 0,35$. Такі результати були отримані в дослідженнях М.М. Сафьяна, Г. Форда та інших авторів [4]. Відносно низькі значення ψ при холодному прокатуванні пояснюються впливом сплюснення валків.

Внаслідок сплюснення передня границя осередку деформації зміщується за лінію центрів валків і, відповідно точка прикладання рівнодіючої P наближається до лінії центрів, тобто плече a зменшується. Чим тонше і твердіше штаба, що прокатується, тим більше сплюснення валків і тим нижче значення ψ . Слід враховувати також і ту обставину, що в міру наближення до площини виходу збільшується наклеп металу, а це викликає відповідне зростання напруження.

1.2 Фактори, що впливають на крутний момент прокатки і коефіцієнт плеча моменту

Величина крутного моменту залежить від сили прокатки, обтиснення, коефіцієнта положення рівнодіючої сил, довжини дуги контакту, фактора форми, коефіцієнта тертя, натягнення штаби, пружного сплющування валків і штаби.

По даним А.А. Корольова і Н.М. Кириліна [3] коефіцієнт плеча із збільшенням обтиснення і коефіцієнта δ зменшується приблизно з 0,5 до 0,4.

Зміцнення металу при прокатуванні зменшує коефіцієнт рівнодіючої, але на незначну величину.

Аналізуючи різний характер розподілення контактних напружень по дузі захвату М.Л. Зароцинський і А.І. Гришков [10] прийшли до висновку, що у залежності від відношення l_d / h_{cp} , крива, яка зображує зміну коефіцієнта плеча, має максимум, рівний 0,5 - 0,67 при $l_d / h_{cp} \approx 1$. Із збільшенням $l_d / h_{cp} > 1$ значення коефіцієнта плеча моменту зменшується, наближуючись до 0,33, а із зменшенням $l_d / h_{cp} < 1$ також зменшується до 0,5 при $l_d / h_{cp} \rightarrow 0$.

Значення максимуму коефіцієнта плеча при $l_d / h_{cp} \approx 1$ залежить від швидкості деформації при прокатуванні. Чим більша швидкість деформації, тим більше це значення. Граничні значення коефіцієнта плеча, рівні 0,67 і 0,33, відповідають трикутній епюрі розподілення нормальних напружень по дузі захвату, причому у першому випадку максимум напружень знаходиться у перетині входу штаби у валки, а у другому - у перетині виходу штаби із валків, а мінімальне значення не значно мале в порівнянні з максимумом.

Пояснення причин, що викликають зміщення точки прикладання рівнодіючої до площі виходу при збільшенні l_d / h_{cp} , потрібно шукати у зміні характеру напруженого стану металу у осередку деформації. Так, збільшення

l_d / h_{cp} у результаті, наприклад, підвищення кута захвату призводить при інших постійних умовах до збільшення поздовжніх розтягуючих напружень від горизонтальних складових тиску металу на валки у лівій частині осередку деформації.

Відповідно, при загальному підвищенні питомих напружень у зв'язку з ростом l_d / h_{cp} дія розтягуючих напружень обумовлює менше збільшення площі епюри σ у зоні відставання. Ці обставини і призводять до зміщення центра тяжкості, а значить, і точки прикладання рівнодіючої до площини виходу.

При прокатуванні вузьких штаб, коли їх ширина порівняна з довжиною дуги захоплення, на коефіцієнт плеча починає оказувати помітний вплив розширення, у результаті якого рівнодіюча тиску металу на валки приближується до площини, яка проходить через їх вісі, і, таким чином, ψ зменшується [3].

При $b_{cp} / l_d > 1$ коефіцієнт плеча змінюється незначно. Чим штаба $b_{cp} / l_d < 1$, тим менше коефіцієнт плеча [11].

Натягнення штаби діє на напружений стан штаби у осередку деформації і, відповідно, знижує поздовжні підпираючі напруження і нормальні напруження [1]. Без натягнення не можливо отримати тонку штабу з високою якістю поперечного перетину. Зниження поздовжнього підпираючого напруження, середнього нормального напруження і відповідно сили прокатки у результаті дії переднього і заднього натягнення викликає зменшення величини крутного моменту порівняно із прокаткою без натягнення.

1.3 Розподіл контактних напружень по довжині дуги контакту

На ранніх етапах розвитку теорії прокатки існували суперечливі судження про характер розподілу напружень по дузі контакту. Одні вчені припускали, що найбільше напруження знаходиться в площині входу металу у валки, а потім воно поступово знижується, аж до 0; інші вважали, що в площині входу тиск дорівнює 0, а максимум його знаходиться на виході з осередку деформації [4]. В даний час розподіл тисків досить добре досліджено за допомогою крапкових месдоз. Встановлено, що вид епюр контактного напруження залежить від умов прокатки, і в першу чергу від таких чинників, як відношення l_d / h_{cp} , коефіцієнт тертя f і кут контакту α .

При малих значеннях параметра l_d / h_{cp} ($l_d / h_{cp} < 0,7$) тиск має максимальне значення поблизу площини входу (рис. 1.8, а). Це пояснюється заднім жорстким кінцем штаби, який підпирає. Дослідами доведено, що при прокатуванні дуже коротких зразків, довжиною приблизно рівною довжині осередку деформації, тобто при відсутності задньої зовнішньої зони, пік тиску на вході зникає (пунктирна лінія на рис. 1.8, а). В інтервалі $l_d / h_{cp} = 0,7 - 1,5$ напруження розподіляються по дузі контакту приблизно рівномірно (рис. 1.8, б). У цьому випадку вплив зовнішніх зон на осередок деформації стає незначним, а сили тертя на контакті ще не роблять помітної підпираючої сили, так як товщина штаби залишається про відносно великою.

При більш високих значеннях параметра особливо при $l_d / h_{cp} > 3-4$ (тонка штаба) на епюрах напруження з'являється чітко виражений пік, розташований в нейтральному перетині (рис. 1.8, в). Такий характер розподілу напруження уздовж дуги контакту обумовлений дією сил тертя. У міру переміщення від границь осередку деформації до нейтрального перетину зростає сума поздовжніх підпираючих сил тертя - відповідно ростуть контактні

напруження. Максимальний підпір сили тертя створюють в нейтральному перетині, тому і напруження тут максимальне.

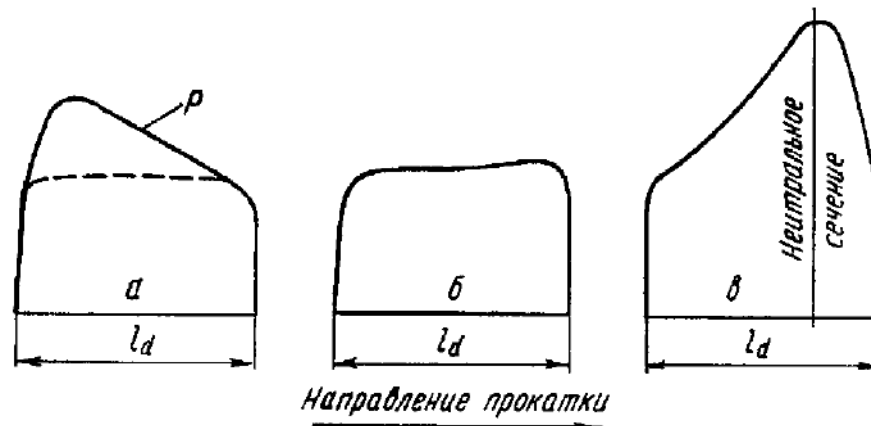


Рисунок 1.8 - Типові епюри розподілення контактних напружень по довжині дуги контакту при прокатуванні товстих (а), середніх (б) і тонких (в) штаб

Зі сказаного випливає, що висота піку на епюрі напружень повинна залежати від коефіцієнта тертя. Цей висновок підтверджується експериментальними даними. Зі збільшенням коефіцієнта тертя, при інших рівних умовах, пік на епюрах напруження зростає.

1.4 Аналіз диференційного рівняння прокатки

Закон розподілу питомого тиску металу, що прокатується по дузі захвату має дуже велике значення для визначення сили, що діє на валки. Від характеру розподілу цього питомого тиску цілком залежать координати точки прикладання рівнодіючої тиску металу на валки; в деякій залежності від нього знаходиться і величина самих сил, що діють на валки. Визначення ж координат точки прикладання рівнодіючої тиску металу на валки необхідно для підрахунку моментів, які прикладають до валків для їх обертання [1].

Про розподіл питомого тиску по дузі захвату серед дослідників процесу прокатки протягом довгого часу не було єдиної і досить обґрунтованої думки.

Лише починаючи з 1925р. це питання стало більш - менш обґрунтованим в результаті математичного аналізу, котрий провів Т. Карман [1]. Він отримав диференційне рівняння прокатки (рис. 1.9). Це рівняння пов'язує геометричні параметри осередку деформації з фізичними характеристиками процесу прокатки: контактними дотичними напруженнями тертя, нормальними напруженнями і напруженнями плинину металу. Рівняння послугувало основою для створення сучасної теорії прокатки для двозонного осередку деформації, тобто при існуванні лише зон випередження і відставання (без зони прилипання). Диференційне рівняння прокатки дає можливість встановити інтенсивність зміни нормальних контактних напружень в залежності від зміни геометричних параметрів і напружень тертя по довжині дуги контакту.

При виводі диференційного рівняння прийняті наступні допущення:

- 1) Деформація будь-якого перетину по висоті рівномірна;
- 2) Напруження плинину металу не змінюється по довжині осередку деформації;
- 3) Деформація є плоскою, тобто прокатка йде без розширення;
- 4) Дуга контакту замінена хордою;
- 5) У осередку деформації є лише зони відставання і випередження (зони ковзання).

Виділимо з штаби, що прокатується деякий елемент $mm'n'$, який обмежений циліндричними поверхнями обох прокатних валків і двома площами, перпендикулярними напрямку прокатки і розташованими одна від іншої на нескінченно малій відстані dx . Розглянемо умови рівноваги цього елемента, проектуючи всі діючі на нього сили в поздовжньому напрямку.

Якщо прийняти, що елемент знаходиться в зоні відставання, де метал переміщується відносно валків до площі виходу, дія горизонтальних складових сил зі сторони двох валків на штабу буде наступною:

$$X_1 = 2(p \cdot tg\varphi dx - \tau \cdot dx) \quad (1.16)$$

де p - нормальне контактне напруження в точці дуги контакту;

τ - дотичне напруження тертя в точці дуги контакту;

φ - змінний кут дуги контакту.

З правої частини штаби на площину mn' діє внутрішня сила:

$$X_2 = 2\sigma_x \cdot \frac{h_x}{2} \quad (1.17)$$

де $\sigma_x(\sigma_z)$ - середнє по перетину штаби поздовжнє підпирające напруження стиснення;

$\frac{h_x}{2}$ - половина висоти штаби перетину mn' .

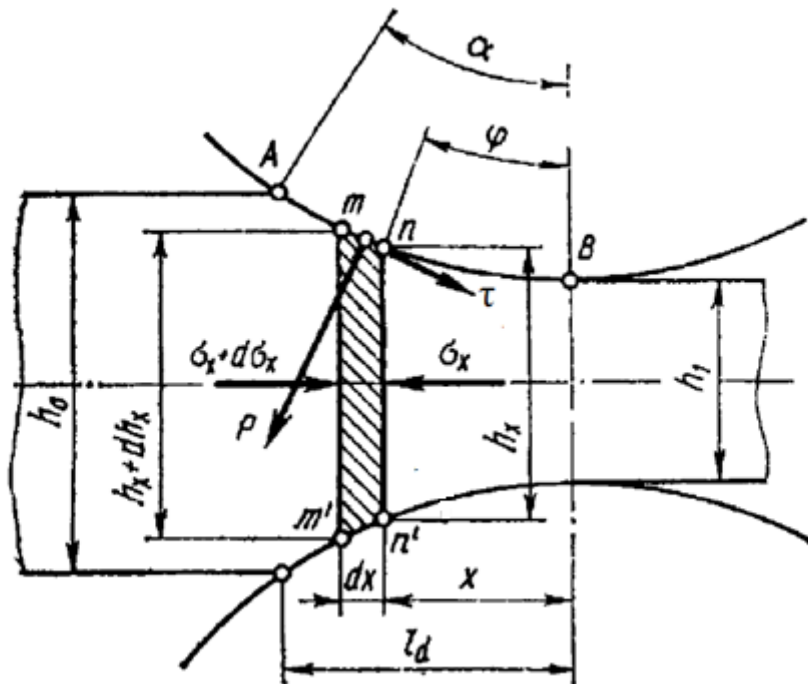


Рисунок 1.9 - Схема до виводу диференційного рівняння прокатки

Величина внутрішньої сили, яка діє з лівої сторони буде іншою. В цьому випадку горизонтальне підпирające напруження буде дорівнювати $(\sigma_x + d\sigma_x)$, а половина висоти перетину також декілька більша і дорівнює $\frac{h_x + dh_x}{2}$. Тоді сила, що діє на площину mm' дорівнює (для двох валків):

$$X_3 = 2(\sigma_x + d\sigma_x) \cdot (h_x + dh_x) \quad (1.18)$$

де dh_x і $d\sigma_x$ - приріст відповідно висоти площадки і поздовжніх напружень.

Так як сума всіх сил діючих на елемент дорівнює нулю, то отримаємо:

$$\sum x = 2(\sigma_x + d\sigma_x) \cdot \left(\frac{h_x + dh_x}{2} \right) - 2\sigma_x \cdot \frac{h_x}{2} - 2p \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot dx + 2\tau \cdot dx = 0 \quad (1.19)$$

Після перетворень і нехтуючи малими величинами другого порядку, отримаємо:

$$\sigma_x \cdot \frac{dh_x}{2} + d\sigma_x \cdot \frac{h_x}{2} - p \cdot \frac{dh_x}{2} + \tau \cdot dx = 0$$

або

$$d\sigma_x \cdot \frac{h_x}{2} - (p - \sigma_x) \frac{dh_x}{2} + \tau \cdot dx = 0$$

Поділимо цей вираз на $\frac{h_x}{2} \cdot dx$:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} - \frac{(p - \sigma_x)}{\frac{h_x}{2}} \cdot \frac{dh_x}{2} \cdot \frac{\tau}{\frac{h_x}{2}} = 0 \quad (1.20)$$

У виразі (1.20) перша дріб показує інтенсивність зміни поздовжніх підпираючих напружень по довжині дуги контакту, друга дріб - інтенсивність зміни напруження плинину металу по довжині дуги контакту, третя дріб - зміну дотичних напружень по довжині дуги контакту.

Якщо елемент, що розглядається, mm^n знаходиться в зоні випередження, де метал переміщується у напрямку площі виходу і сили тертя направлені проти обертання валків, диференційне рівняння прийме наступний вид:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} - \frac{(p - \sigma_x)}{\frac{h_x}{2}} \cdot \frac{dh_x}{2} - \frac{\tau}{\frac{h_x}{2}} = 0 \quad (1.21)$$

У виразах (1.20) і (1.21) два невідомих параметри - p і σ_x , які пов'язані один з одним.

З метою виключення одного невідомого, а саме σ_x , встановимо залежність між p і σ_x , для чого скористаємося рівнянням пластичності по четвертій теорії граничного стану [6], по якій:

$$p = \sigma_\phi + \sigma_x; \quad \sigma_x = p - \sigma_\phi \quad (1.22)$$

Підставляючи (1.22) у (1.20) і (1.21), отримаємо:

$$\frac{d(p - \sigma_\phi)}{dx} - \frac{\sigma_\phi \cdot \frac{dh_x}{2}}{\frac{h_x}{2} dx} \pm \frac{\tau}{\frac{h_x}{2}} = 0 \quad (1.23)$$

де знак (+) для зони відставання; знак (-) для зони випередження.

При допущенні, що величина σ_ϕ незмінна по дузі захвату диференціальне рівняння прийме вид:

$$\frac{dp}{dx} - \frac{\sigma_\phi}{\frac{h_x}{2}} \cdot \frac{dh_x}{2} \pm \frac{\tau}{\frac{h_x}{2}} = 0 \quad (1.24)$$

Оскільки у рівнянні (1.24) є два невідомих, то його можна вирішити лише у тому випадку, якщо задатися тою чи іншою залежністю між τ і p чи τ і σ_ϕ . З рівнянь (1.23) і (1.24) після перетворення отримаємо [2]:

$$dp = \left(\sigma_\phi \pm \frac{\tau}{\operatorname{tg} \varphi} \right) \frac{\frac{dh_x}{2}}{\frac{h_x}{2}} \quad (1.25)$$

Диференціальне рівняння (1.25) дає можливість визначити приріст dp нормального напруження послідовно в кожній точці дуги контакту в залежності від зміни товщини штаби.

1.5 Теоретичне визначення нормального напруження у точці дуги контакту по О.І. Целікову

Для вирішення рівняння (1.23) і (1.25) приймається ряд припущень і спрощень. О.І. Целіков [3] вирішив це рівняння при наступних припущеннях:

- 1) деформація по висоті рівномірна;
- 2) осередок деформації має лише зони ковзання;
- 3) коефіцієнт тертя не змінюється по дузі контакту;
- 4) сили тертя змінюються за умовами Амонтона ($\tau = f \cdot p_{\text{СР}}$, τ - дотичне контактне напруження);
- 5) опір металу деформації усереднено по довжині осередку деформації;
- 6) дуга контакту замінена хордою.

А.І. Целіков розраховує контактні напруження за умови натягнення (ξ_0 і ξ_1) не враховуючи вплив ширини за наступними формулами [1]:

для зони відставання

$$p = (\sigma_{\phi} / \delta) \left[(\xi_0 \delta - 1) \cdot (H / h_x)^{\delta} + 1 \right]; \quad (1.26)$$

для зони випередження

$$p = (\sigma_{\phi} / \delta) \left[(\xi_1 \delta + 1) \cdot (h_x / h)^{\delta} - 1 \right], \quad (1.27)$$

де h_x - поточна висота штаби по довжині дуги контакту;

δ - коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього тертя

$$\delta = f / \operatorname{tg}(\alpha / 2) = 2f / \alpha. \quad (1.28)$$

Коефіцієнти ξ_0 і ξ_1 , які враховують вплив напружень натягнення, визначають за формулами:

$$\xi_0 = 1 - (\sigma_0 / \sigma_{\phi}); \quad \xi_1 = 1 - (\sigma_n / \sigma_{\phi}); \quad (1.29)$$

де σ_n і σ_0 - напруження переднього і заднього натягнення.

Поточну висоту штаби у вогнищі деформації визначають за формулою:

$$h_x = h + \Delta h \cdot x / l_d \quad (1.30)$$

де x - поточна довжина дуги контакту (у площі виходу $x=0$, у площі входу $x=l_d$).

При визначенні конкретних значень p розрахунків для зони відставання починають з площі входу, а для зони випередження - з площі виходу. У цих

випадках відповідно маємо $h_x = H$ і $h_x = h$ і $p = \sigma_\phi$, а в наступних точках визначають h_x при $x = l_d$ у першому випадку і при $x > 0$ у другому випадку [1]. Таким чином отримують дві гілки кривих, перетин яких характеризує максимальне значення нормального напруження p у вогнищі деформації (рис. 1.10)

Перетинання гілок епюри характеризує положення критичного перетину між зонами відставання і випередження. Збільшення нормального напруження від границь осередку до критичного перетину обумовлено підвищенням впливу дотичних напружень тертя, напруження σ_z і опору поздовжньому плину метала.

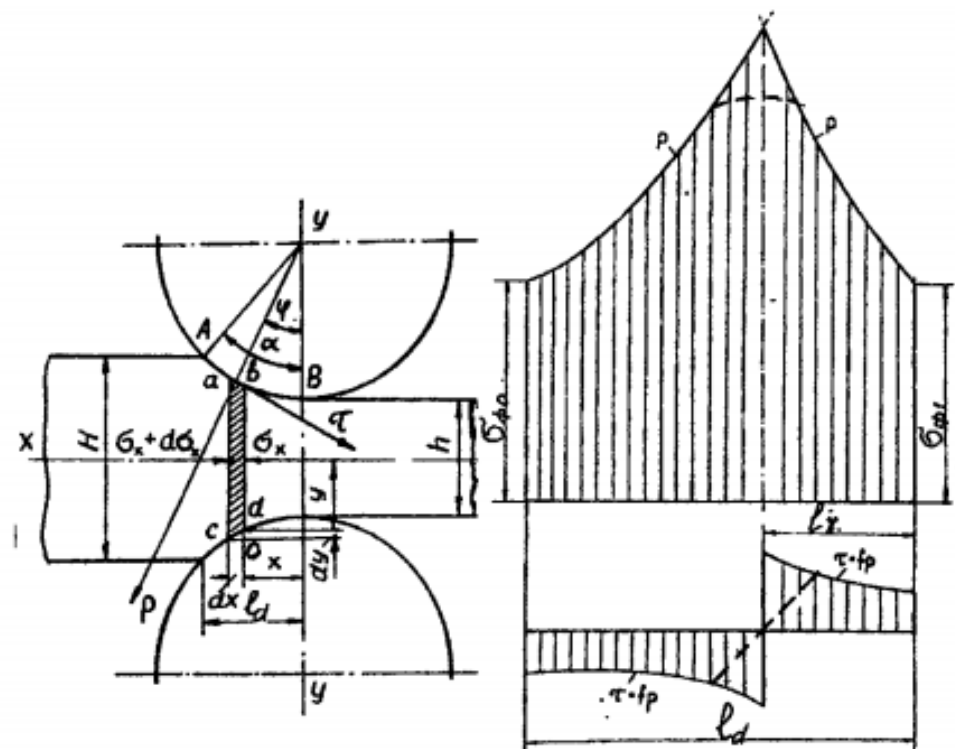


Рисунок 1.10 - Епюра нормальних напружень по О.І. Целікову

При аналізі закону розподілення нормального контактного напруження по дузі захвату можна бачити, що нормальне напруження знаходиться у залежності від багатьох факторів таких як: коефіцієнт зовнішнього тертя, висота штаби, що прокатується, величина обтиску, діаметр валків і натягнення штаби, що прокатується при її вході і виході з валків [4].

Коефіцієнт тертя значно впливає на нормальне контактне напруження. Чим вище коефіцієнт тертя, тим зростання контактного напруження по напрямку до критичного перетину стає більш значним.

Збільшення опору метала деформації σ_f призводить до пропорційного збільшення нормальних напружень. Прикладання переднього і заднього натягнення до кінців штаби зменшує значення поздовжніх підпираючих напружень і нормальних напружень. Чим більше величини коефіцієнтів ξ_0 і ξ_1 , тим в більшій мірі знижуються нормальні контактні напруження.

Формула по А.І. Целікову з прийнятими допущеннями відноситься до випадку прокатки тонких широких штаб [4]. Вона може бути рекомендована для холодної прокатки, коли валки піддаються сплюсненню і достатньо справедливий закон тертя Амонтона.

1.6 Теоретичне визначення нормального контактного напруження у точці дуги контакту за формулою В.О. Ніколаєва

При вирішенні диференційного рівняння В.О. Ніколаєв приймає такі ж допущення як А.І. Целіков, окрім того, що сили тертя змінюються за законом Е. Зібеля ($\tau = f_{\text{п}} \cdot \sigma_f$) і дуга контакту замінена параболою. Фізично умови тертя Е. Зібеля більш обґрунтовані, так як механізм контактного тертя при деформації складається у пластичному здвигу частинок металу у тонкому приконтактному шарі [1]. Характер розподілу контактного напруження по теорії Зібеля аналогічний теорії Амонтона, тільки підйом кривих контактного напруження по напрямку до нейтрального перетину відбувається менш круто. Це пояснюється тим, що сили тертя по теорії Зібеля приймаються меншими ніж по теорії Амонтона.

В.О. Ніколаєв пропонує розраховувати контактні напруження за наступними формулами [5]:

для зони відставання:

$$\begin{aligned}
 p_x = 2k_0 \left\{ \left[\xi_0 + n_y \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right) \right] + \left[1 + n_y \left(1 + \frac{h}{\Delta h} \right) \right] \ln \frac{1 + \frac{x^2}{l^2} \frac{\Delta h}{h}}{1 + \frac{\Delta h}{h}} + \right. \\
 \left. + n_y \left(1 + \frac{x^2}{l^2} \right) - 2f_\sigma n_y \left(1 - \frac{x}{l} \right) \sqrt{\frac{R}{\Delta h}} + 2f_\sigma \left[(1 + n_y) \sqrt{\frac{R}{h}} + \right. \right. \\
 \left. \left. + \frac{n_y \sqrt{Rh}}{\Delta h} \right] \left(\arctg \sqrt{\frac{\Delta h}{h}} - \arctg \frac{x}{l} \sqrt{\frac{\Delta h}{h}} \right) \right\}; \quad (1.31)
 \end{aligned}$$

для зони випередження:

$$\begin{aligned}
 p_x = p_B - 2k_1 + 2k_0 \left[1 + n_y \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right) \right] + 2k_0 \left\{ \left[1 + n_y \left(1 + \frac{h}{\Delta h} \right) \right] \times \right. \\
 \left. \times \ln \left(1 + \frac{x^2}{l^2} \frac{\Delta h}{h} \right) - n_y \frac{x^2}{l^2} - 2f_\sigma n_y \frac{x}{l} \sqrt{\frac{R}{h}} + 2f_\sigma \left[(1 + n_y) \sqrt{\frac{R}{h}} + \right. \right. \\
 \left. \left. + \frac{n_y \sqrt{Rh}}{\Delta h} \right] \arctg \frac{x}{l} \sqrt{\frac{\Delta h}{h}} \right\} \quad (1.32)
 \end{aligned}$$

де $2k_0$ - опір металу деформації при вході у валки;

$2k_1$ - опір металу деформації на виході із валків;

f_σ - показник тертя;

n_y - коефіцієнт, який враховує міру зміцнення металу;

x - поточна координата вздовж осередку деформації;

l - фактична довжина дуги контакту;

ξ_0 - коефіцієнт, який враховує вплив зовнішніх і внутрішніх задніх поздовжніх розтягуючих напружень;

ξ_1 - коефіцієнт, який враховує вплив зовнішніх і внутрішніх передніх поздовжніх розтягуючих напружень.

При розв'язанні рівнянь приймають граничні умови для зони відставання: $x=l$; $2k_x=2k_0$; $p_x=2k_0\xi_0$; у зоні випередження: $x=0$; $2k_x=2k_1$;

$p_x = p_B$ [5]. Так отримують дві кривих перетин яких характеризує максимальне значення нормального контактного напруження у вогнищі деформації.

Як і формула О.І. Целікова формула В.О. Ніколаєва відноситься до випадку прокатки холодних штаб. Оскільки при виводі цієї формули рекомендовано закон тертя Зібеля, то вона може бути рекомендована для розрахунку нормального контактного напруження при гарячому прокатуванні.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика прокатного виробництва та технологічного обладнання

Основне прокатне виробництво у прокатному цеху включає такі групи технологічних процесів:

приймання заготовки, куди входять вивантаження з транспортних засобів, вхідний контроль, складування, зберігання металу;

підготовку металу до прокатки, якщо надійшов у цех метал не придатний до безпосередньої прокатки: зачищення поверхні і нагрівання перед гарячою прокаткою, травлення, а іноді і термічну обробку перед холодною прокаткою;

власне прокатку, центральний технологічний процес;

обробку металу, якщо після прокатки розкат не задовольняє вимогам споживачів;

задачу готової продукції: вихідний контроль, сертифікацію, упаковку, складування, зберігання, розміщення у транспортних засобах, відвантаження.

Особливо численні процеси обробки, які полягають у наданні прокатаному металу

компактного, транспортабельного вигляду (порізка, змотування);

заданої форми (правка, дресирування);

заданих об'ємних та поверхневих властивостей (термічна обробка, дресирування, зачистка, травлення, нанесення постійних або тимчасових покриттів).

Технологічне обладнання.

Устаткування прокатних цехів класифікують:

по відношенню до профілю цеху на обладнання основного, допоміжних та побічних виробництв;

по виконуваним функціям на обладнання для обробки, контролю та транспортування металу або, в іншому розрізі, на технологічне та підйомно-транспортне обладнання;

за фізичною природою процесів на механічне, тепло- та масообмінне;

за рівнем складності, що диктується його місцем у виробничому процесі, на обладнання для виконання технологічних переходів, технологічних операцій і технологічних процесів, умовно на машини, установки і агрегати.

Агрегат може бути побудований так, що всі операції над металом, нерухомим або здійснюючим обмежені поворотно-поступальні рухи, ведуться послідовно в часі при відповідній зміні параметрів налаштування агрегату. Тим самим досягається багатофазова обробка металу, при якій всі його перетини набувають із заданою точністю однакових властивостей. Такими є нагрівальні колодязі, камерні печі, мостові крани, реверсивні прокатні кліті. Їх називають агрегатами періодичної дії (дискретними) чи реакторами.

Агрегат може бути побудований і так, що всі операції над металом ведуться в ньому послідовно не тільки в часі, а й у просторі. Переміщаючись щодо розосереджених обробних пристроїв (фаз) агрегату, що зберігають у часі параметри початкової настройки або змінюють їх за заданим законом, різні перерізи металу набувають у них однакових властивостей. Кажуть, що обробні фази (пристрої) таких агрегатів розташовані послідовним або безперервним чином, якщо в кожний момент часу штаба знаходиться в одній або відразу в декількох або навіть у всіх фазах. Такі методичні нагрівальні печі, послідовні або безперервні прокатні стани і численні агрегати для підготовки та обробки металу при рулонному способі виробництва: для травлення, відпалу, нанесення покриттів, різанні і т. п. Це агрегати безперервної дії або конвеєри.

Одні й ті самі процеси можуть бути організовані як і в безперервних, так і у дискретних агрегатах, при цьому у кожному типі властиві свої переваги і недоліки і вони постійно поліпшуються. Досягши досконалості, агрегати одного типу поступаються місцем агрегатам іншого, ще більш

високоорганізованим. Так, свого часу від одноклітинних реверсивних прокатних станів перейшли до багатоклітинних безперервних, а тепер цілі групи клітей замінюють однією кліттю, що забезпечує надобтискання. У всякому разі, безперервні та дискретні агрегати та процеси співіснують у прокатному виробництві, так що одні складові виробничого процесу реалізуються в безперервних, а інші – у дискретних пристроях, чому прокатне виробництво, як і металургійне в цілому, розглядаючи з цієї точки зору, називають безперервно-дискретним.

Режими обробки.

Вказані нормативно-технічною документацією умови переведення металу зі стану в стан називають режимами обробки. Будь-який режим є результат взаємодії оброблюваного металу і обробного технічного пристрою. Реалізувати можна лише ті режими, які задовольняють *обмеженням*, що накладаються як властивостями металу, так і характеристиками обробного пристрою, гарантуючи при цьому безпеку персоналу та бажану якість металу. Такі режими називаються *допустимими*. Оскільки зазвичай існує нескінченна безліч допустимих режимів, виникає проблема вибору: деякі режими виявляються кращими за інші за тим чи іншим критерієм, *оптимальні* в сенсі того чи іншого критерію. Режими обробки, у яких досягається максимальна продуктивність устаткування, називаються *граничними*. Вони можуть бути вільними, пов'язаними чи регламентованими.

Вільні режими цілком визначаються потужністю та швидкісними можливостями обладнання. Саме такими в більшості випадків бувають режими холодної прокатки штаб на безперервних та реверсивних станах, режими розпуску рулонів на агрегатах поздовжнього різання або правки на роликко-правильних машинах. На *пов'язані* режими впливають умови роботи суміжного обладнання: стан не може прокатати більше металу, ніж нагріють печі, а швидкість прокатки в безперервній групі клітей при заданому режимі

обтискань не можна підняти понад обумовлену можливостями двигуна однієї з них. При *регламентованих* режимах обмеження накладає метал, що обробляється, а саме процеси, що протікають одночасно з основним режимом і характеризуються більшою інерційністю. Такі режими гарячої прокатки. Наприклад, швидкість прокатки в чистовій групі клітей широкоштабового стану обмежується необхідністю отримання таких температур кінця прокатки металу, які в поєднанні з температурою змотування в рулон призводять до заданих властивостей розкату, і тоді стан вимушено використовують як холодильник для металу.

Роль граничних режимів обробки в прокатному виробництві дуже значна, тому що навіть при недостатньо напруженій виробничій програмі, цехи на знижені режими все ж таки не переходять, а використовують граничні режими, створюючи резерв робочого часу. Порушення цього принципу веде до декваліфікації персоналу.

2.2 Розрахунок і конструювання головної лінії чотиривалкової кліті широкоштабового стану гарячої прокатки при прокатуванні штаби завтовшки 1,6 – 3,5 мм зі сталі 08пс

2.2.1 Установка кліті

1. Маса кліті [1 - 3]

$$\begin{aligned} G_{13} &= 2(G_3 + G_7 + G_{8.1} + G_{8.4}) + G_{12} = \\ &= 2 \cdot (8,76 + 87,09 + 3,32 + 0,09) + 241,89 = 440,43 \text{ (440,10) т.} \end{aligned} \quad \left| \quad (2.1) \right.$$

2. Рівень лінії прокатки відносно опорних поверхонь лап (плече сили, що перекидає)

$$H_{14} = H_{10} - H_{11} + H_{13} = 2460 - 320 + 800 = 2940 \text{ мм.} \quad \left| \quad (2.2) \right.$$

3. Максимально можливий момент, що перекидає, у кліті

$$M_{opr} = 2,5 \frac{30Nu\eta_2\eta_3\eta_4}{1000\pi\bar{n}} \left(1 + \frac{2H_{14}}{D}\right) =$$

$$= 2,5 \frac{30 \cdot (2 \times 1400) \cdot 1,0753 \cdot 0,97 \cdot 0,94 \cdot 0,98}{1000 \cdot \pi \cdot 200} \left(1 + \frac{2 \cdot 2,94}{0,61}\right) = 3,42 (7,15) \text{ МНм.} \quad (2.3)$$

4. Зусилля, що притискають плитовини до фундаменту

$$Y_{4,5} = \frac{gG_{13}}{2} \mp \frac{M_{opr}}{B_9 + B_{13}} =$$

$$= \frac{9,81 \cdot 440,37}{2 \cdot 1000} \mp \frac{3,42}{3,48 + 0,64} = 2,21 \mp 0,82 = \begin{cases} 1,33 & (0,42) \\ 2,99 & (3,89) \end{cases} \text{ МН.} \quad (2.4)$$

5. Питомий тиск найбільш навантаженої плитовини на фундамент

$$q_2 = \frac{Y_5}{B_{13}L_7} = \frac{2,99}{0,64 \cdot 4,36} = 1,07(1,40) < [q] = 1,5 - 2,0 \text{ МПа [40, с. 155].} \quad (2.5)$$

2.2.2 Напруження в деталях кліті та їх деформації

Валки

1. Напруження кручення в приводних кінцях робочих валків

$$\tau_0 = \frac{M_1}{0,2d_5^3} = \frac{121 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,24^3} = 43,8 (22,4) \text{ МПа} < [\tau]. \quad (2.6)$$

2. Напруги кручення, вигину при максимальному зусиллі врівноваження та протизгинання, а також результуючі σ_2 у шийках сталевих та чавунних робочих валків холодної та гарячої прокатки

$$\tau_1 = \frac{M_1}{0,2d_1^3} = \frac{121 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,36^3} = 13,0, \quad \sigma_1 = \frac{Y_{3.3}l_1}{0,1d_1^3} = \frac{0,49 \cdot 0,38}{0,1 \cdot 0,36^3} = 39,8 (39,7),$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt{39,8^2 + 3 \cdot 13,0^2} = 45,7 < [\sigma], \quad (2.7)$$

$$\sigma_2 = 0,375\sigma_1 + 0,625\sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2} =$$

$$= 0,375 \cdot 39,9 + 0,625\sqrt{39,7^2 + 4 \cdot 13,0^2} = 44,6 \text{ МПа} < [\sigma].$$

3. Напруження вигину у бочці і шийках опорних валків

$$\sigma_3 = \frac{Y_0(L_4 - L/2)/2}{0,1D_o^3} = \frac{14,34 \cdot (2,72 - 1,45/2)/2}{0,1 \cdot 1,6^3} = 34,9, \quad (2.8)$$

$$\sigma_4 = \frac{Y_0 l_{13}}{0,1d_6^3} = \frac{14,34 \cdot 0,635}{0,1 \cdot 1,148^3} = 60,2 \text{ МПа} < [\sigma].$$

4. Погонне навантаження на контактї між робітниками та опорними валками, а також між робочими валками та штабою мінімальної ширини

$$q_3 = 2Y_0/L = 2 \cdot 14,34/1,45 = 19,77, \quad (2.9)$$

$$q_4 = 2(Y_0 - Y_1)/b_{n3} = 2 \cdot (14,34 - 0,44)/1,04 = 26,73 \text{ МН/м.}$$

5. Наведені модулі пружності та радіуси валків

стальних $E_{np1} = \frac{2EE_o}{E + E_o} = 2,1 \cdot 10^5, \quad E_{np2} = 2E = 4,2 \cdot 10^5,$

чавунних $E_{np1} = \frac{2 \cdot 1,75 \cdot 2,10}{1,75 + 2,10} \cdot 10^5 = 1,91 \cdot 10^5, \quad E_{np2} = 2E = 3,5 \cdot 10^5 \text{ МПа,} \quad (2.10)$

$$R_{np1} = \frac{DD_o}{2(D + D_o)} = \frac{0,61 \cdot 1,6}{2 \cdot (0,61 + 1,6)} = 0,221, \quad R_{np2} = \frac{D}{2} = \frac{0,61}{2} = 0,305 \text{ м.}$$

6. Напруги на контактї між робітниками та опорними валками, а також між робочими валками та штабою, МПа,

$$\sigma_5 = 0,418 \sqrt{q_3 E_{np1} / R_{np1}} = 0,418 \sqrt{19,77 \cdot 2,1 \cdot 10^5 / 0,221} = 1813 \text{ (1728),} \quad (2.11)$$

$$\sigma_6 = 0,418 \sqrt{q_4 E_{np2} / R_{np2}} = 0,418 \sqrt{26,73 \cdot 4,2 \cdot 10^5 / 0,305} = 2536 \text{ (2315).}$$

Всі контактні напруги у валках не перевищують допустимих [2].

7. Прогини одного опорного валка під дією згинальних моментів та поперечних сил на довжині L_4 між серединами ПРТ (рис. 2.1)

$$\delta_1 = \frac{2Y_0}{6\pi E_o D_o^4} \left[8L_4^3 - 4L_4 L^2 + L^3 + 64l_{13}^3 \left(\frac{D_o^4}{d_6^4} - 1 \right) \right] = \frac{10^3 \cdot 2 \cdot 14,34}{6 \cdot \pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,6^4} \times \quad (2.12)$$

$$\times \left[8 \cdot 2,72^3 - 4 \cdot 2,72 \cdot 1,45^2 + 1,45^3 + 64 \cdot 0,635^3 \left(\frac{1,6^4}{1,148^4} - 1 \right) \right] = 0,2062 ,$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{2Y_0}{\pi G_o D_o^2} \left[L_4 - \frac{L}{2} + 2l_{13} \left(\frac{D_o^2}{d_6^2} - 1 \right) \right] = \\ &= \frac{10^3 \cdot 2 \cdot 14,34}{\pi \cdot 0,79 \cdot 10^5 \cdot 1,6^2} \left[2,72 - \frac{1,45}{2} + 2 \cdot 0,635 \left(\frac{1,6^2}{1,148^2} - 1 \right) \right] = 0,1440 \text{ мм.} \end{aligned}$$

8. Те ж саме на довжині діжки

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \frac{2Y_0(12L_4L^2 - 7L^3)}{6\pi E_o D_o^4} = \frac{10^3 \cdot 2 \cdot 14,34 \cdot (12 \cdot 2,72 \cdot 1,45^2 - 7 \cdot 1,45^3)}{6 \cdot \pi \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,6^4} = 0,0523, \\ \delta_4 &= \frac{2Y_0 L / 2}{\pi G_o D_o^2} = \frac{10^3 \cdot 2 \cdot 14,34 \cdot 1,45 / 2}{\pi \cdot 0,79 \cdot 10^5 \cdot 1,6^2} = 0,0327 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.13)$$

9. Деформація сплющування на контакті між опорним та робочим валками, а також між робочими валками та штабою

$$\begin{aligned} \delta_5 &= 0,58 \frac{q_3}{E_{np1}} \ln \left[1,65(D + D_o) \frac{E_{np1}}{q_3} \right] \cdot 10^3 = \\ &= 0,58 \frac{19,77}{2,1 \cdot 10^5} \ln \left[1,65 \cdot (0,61 + 1,6) \frac{2,1 \cdot 10^5}{19,77} \right] \cdot 10^3 = 0,5770 (0,6289), \\ \delta_6 &= 0,58 \frac{q_4}{E_{np2}} \ln \left[3,3D \frac{E_{np2}}{q_4} \right] \cdot 10^3 = \\ &= 0,58 \frac{26,73}{4,2 \cdot 10^5} \ln \left[3,3 \cdot 0,61 \frac{4,2 \cdot 10^5}{26,73} \right] \cdot 10^3 = 0,3825 (0,4509) \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.14)$$

10. Сумарна деформація валків та жорсткість валкової системи (рис. 2.1 – 2.3)

$$\begin{aligned} \delta_g &= 2(\delta_1 + \delta_2 + \delta_5) + \delta_6 = 2 \cdot (0,2062 + 0,1440 + 0,5770) + 0,3825 = \\ &= 2,2369 (2,4093) \text{ мм,} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$M_g = 2Y_0 / \delta_g = 2 \cdot 14,34 / 2,2369 = 12,82 (11,90) \text{ МН/мм.}$$

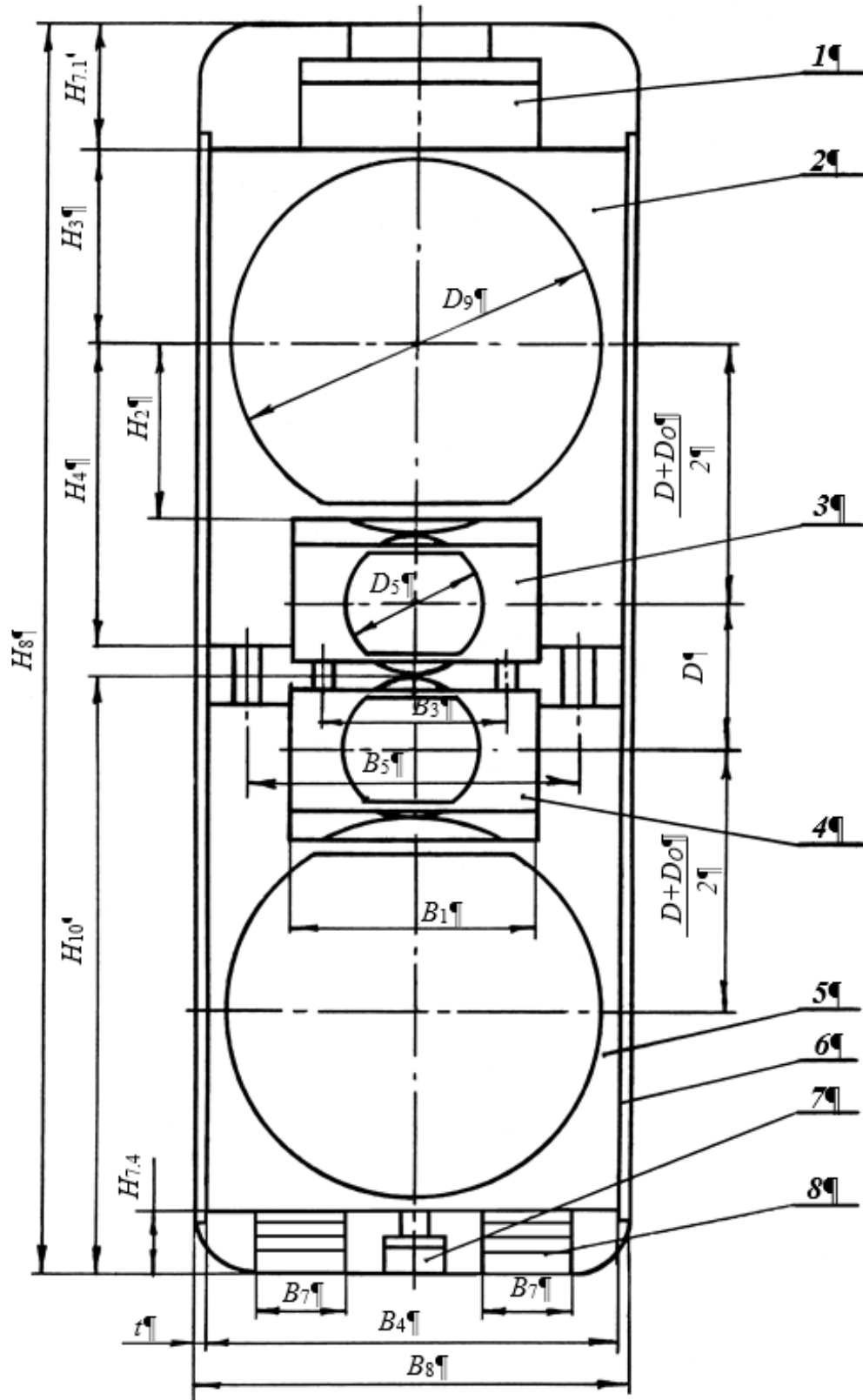


Рисунок 2.1 – Станина чотиривалкової прокатної кліти і компонування елементів у її вікні

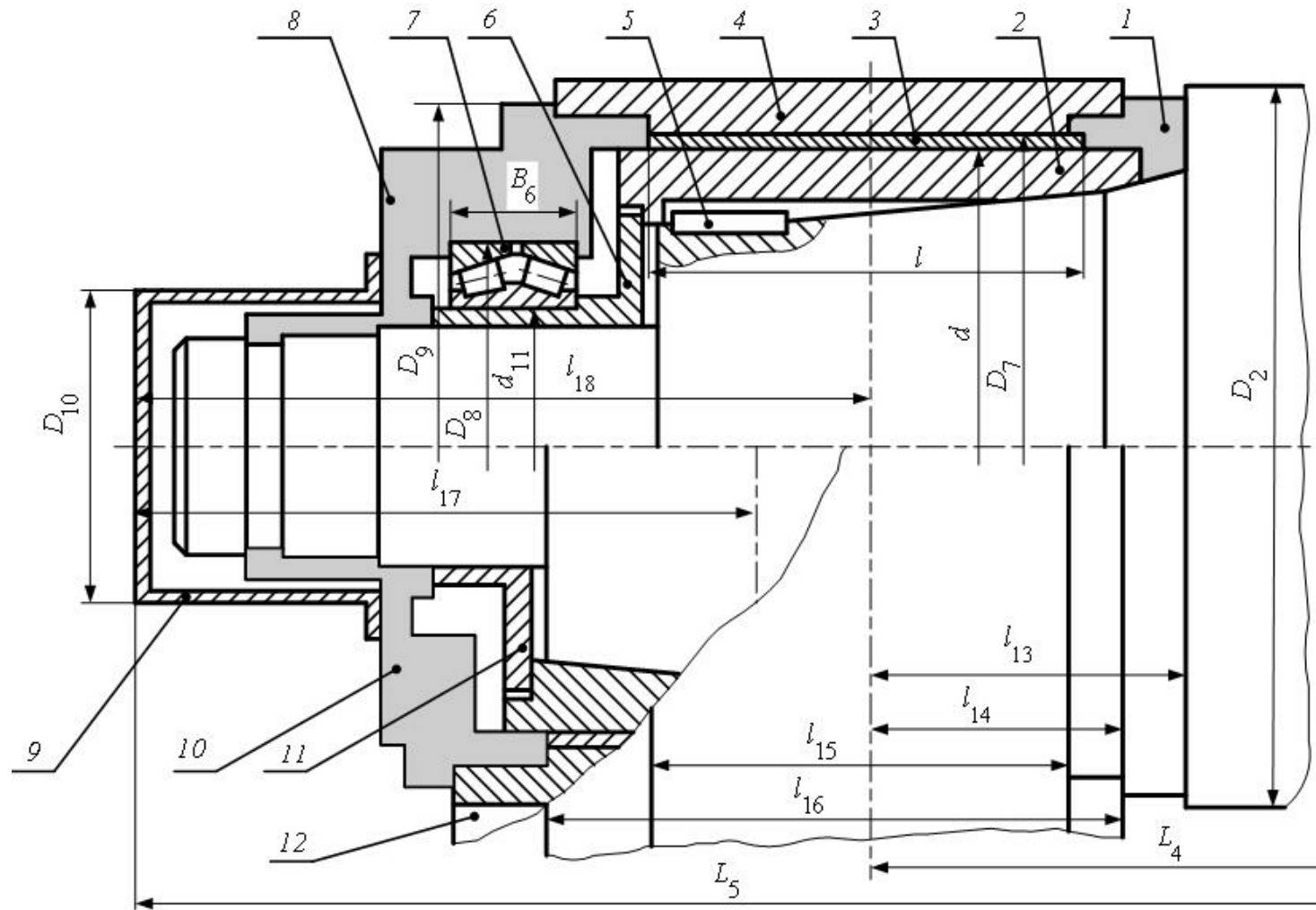


Рисунок 2.2 - Конструкції підшипникових вузлів і подушок опорного валка

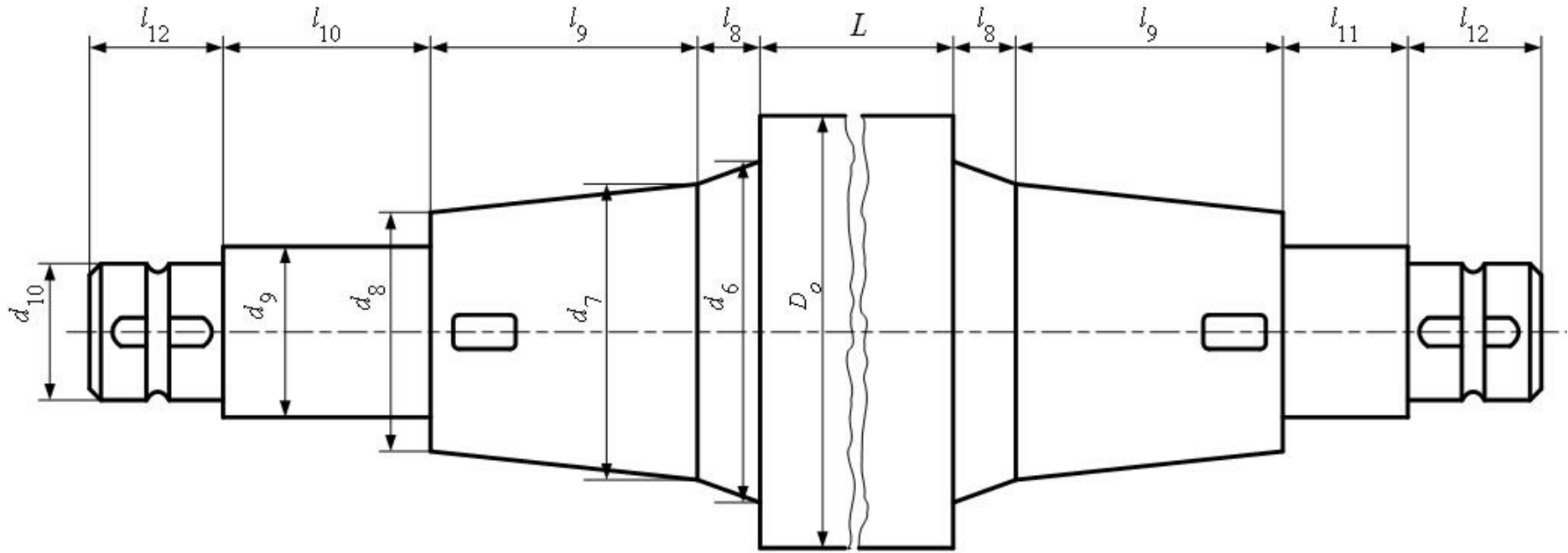


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема опорного валка

Станина

1. Площі, моменти опору та інерції стійок та поперечок

$$\begin{aligned}
 F_1 &= b_1 h_1 = 0,82 \cdot 0,82 = 0,6724, & F_2 &= b_2 h_2 = 0,82 \cdot 1,23 = 1,0086 \text{ м}^2, \\
 W_1 &= \frac{b_1 h_1^2}{6} = \frac{0,82 \cdot 0,82^2}{6} = 0,0919, & W_2 &= \frac{b_2 h_2^2}{6} = \frac{0,82 \cdot 1,23^2}{6} = 0,2068 \text{ м}^3, \\
 J_{0.1} &= \frac{b_1 h_1^3}{12} = \frac{0,82 \cdot 0,82^3}{12} = 0,0377, & J_{0.2} &= \frac{b_2 h_2^3}{12} = \frac{0,82 \cdot 1,23^3}{12} = 0,1272 \text{ м}^4.
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

При збільшенні розміру ПРТ переріз стійки станини досягає 1 м², як, наприклад, на товстолистовому стані 5500 ПРТ 1800 мм [3].

2. Довжини нейтральних ліній стійок та поперечок

$$\begin{aligned}
 l_{21} &= B_8 + h_1 = 1,84 + 0,82 = 2,66, \\
 l_{22} &= H_8 + h_2 = 5,275 + 1,23 = 6,505 \text{ м}.
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

3. Статично невизначений момент у кутах станини, напруги вигину в стійках і поперечках, а також зрізу в лапах

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Y_0 l_{21}}{8} \left/ \left(1 + \frac{l_{22}}{l_{21}} \cdot \frac{J_{0.2}}{J_{0.1}} \right) \right. = \frac{14,34 \cdot 2,66}{8} \left/ \left(1 + \frac{6,505}{2,66} \cdot \frac{0,1272}{0,0377} \right) \right. = 0,5151 \text{ МНм} \\
 \sigma_{11} &= \frac{M_0}{W_1} + \frac{Y_0}{2F_1} = \frac{0,5151}{0,0919} + \frac{14,34}{2 \cdot 0,6724} = 16,3, \\
 \sigma_{12} &= \frac{Y_0 l_{21} / 4 - M_0}{W_2} = \frac{14,34 \cdot 2,66 / 4 - 0,5151}{0,2068} = 43,6 < [\sigma] = 60 \text{ МПа}, \\
 \tau_{cp} &= \frac{gG_{13}}{4b_1 h_3} = \frac{9,81 \cdot 440,37 / 1000}{4 \cdot 0,82 \cdot 0,32} = 4,1 < [\tau_{cp}] = 40 \text{ МПа}.
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

4. Деформації стійок

$$\delta_{11} = \frac{Y_0 l_{22}}{2EF_1} = \frac{14,34 \cdot 6,505}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,6724} \cdot 10^3 = 0,3302 \text{ мм}. \tag{2.19}$$

5. Деформації двох поперечок під дією згинальних моментів та поперечних сил

$$\delta_{12} = \frac{l_{21}^2}{4EJ_{0,2}} \left(\frac{Y_0 l_{21}}{6} - M_0 \right) = \frac{10^3 \cdot 2,66^2}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,1272} \left(\frac{14,34 \cdot 2,66}{6} - 0,5151 \right) = 0,3869, \quad (2.20)$$

$$\delta'_{12} = \frac{1,2Y_0 l_{21}}{2GF_2} = \frac{1,2 \cdot 14,34 \cdot 2,66 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,79 \cdot 10^5 \cdot 1,0086} = 0,2872 \text{ мм.}$$

6. Сумарна деформація станин (рис. 2.4)

$$\delta_c = \delta_{11} + \delta_{12} + \delta'_{12} = 0,3302 + 0,3869 + 0,2872 = 1,0043 \text{ мм.} \quad (2.21)$$

2.2.3 Сумарна деформація та модуль жорсткості кліті

$$\delta_k = \delta_g + \delta_s + \delta_c = 2,2369 + 0,2551 + 1,0043 = 3,4963 \text{ (3,6687),}$$

$$\delta'_k = \delta'_g + \delta'_s + \delta'_c = 2,2369 + 2,2603 + 1,0043 = 5,5015 \text{ (5,6739) мм,} \quad (2.22)$$

$$M_k = 2Y_0 / \delta_k = 2 \cdot 14,34 / 3,4963 = 8,20 \text{ (7,82),}$$

$$M'_k = 2Y_0 / \delta'_k = 2 \cdot 14,34 / 5,5015 = 5,21 \text{ (5,05) МН/мм.}$$

Результати отримані без урахування деформації масляного стовпа в гідроциліндрі та з його врахуванням (зі штрихом) при максимальному заповненні гідроциліндра.

2.2.4 Навантаження, які допускаються кліттю

1. Крутний момент, що допускається міцністю кінців двох приводних сталевих та чавунних валків при п'ятикратному запасі міцності,

$$[M]_1 = k_g d_5^3 [\sigma] = 230 \cdot 0,24^3 \cdot 140 = 445 \text{ (778) кН·м,} \quad (2.23)$$

де k_g – коефіцієнт, що залежить від матеріалу валків [2].

2. Крутний момент, що допускається міцністю шийок двох приводних сталевих та чавунних валків при п'ятикратному запасі міцності без обліку та з урахуванням (зі штрихом) зусилля врівноважування та протизгинання,

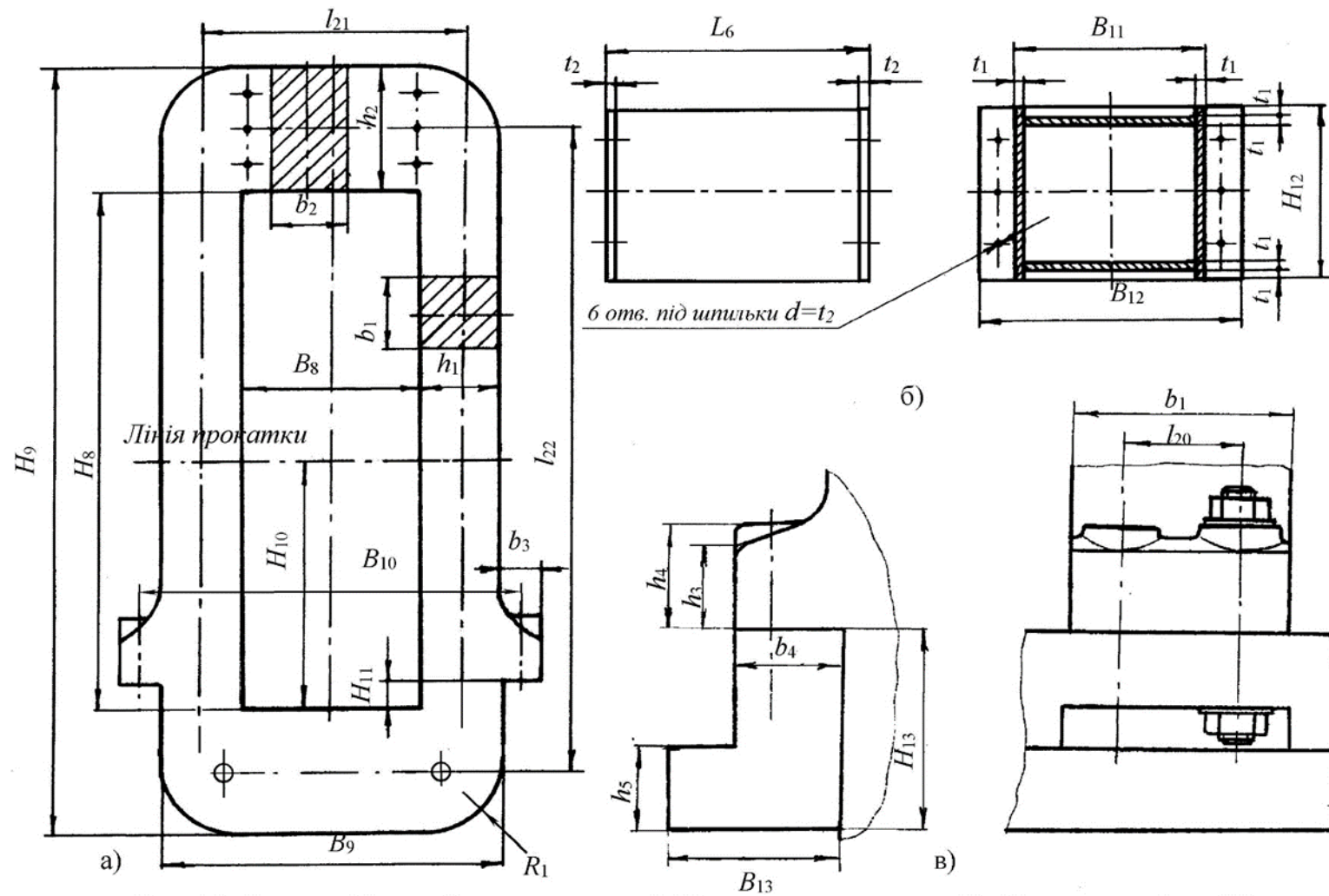


Рисунок 2.4 – Станина прокатної кліти (а), сполучний короб (б) та лапа на плитовині (в)

$$[M]_2 = k_\sigma d_1^3 [\sigma] = 230 \cdot 0,36^3 \cdot 140 = 1502 \text{ (1344) кН}\cdot\text{м.}$$

сталевий валок холодної прокатки $\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \left(\frac{[M]_2' / 2 / 1000}{0,2d_1^3} \right)^2} = [\sigma],$

$$[M]_2' = 230d_1^3 \sqrt{[\sigma]^2 - \sigma_1^2} = 230 \cdot 0,36^3 \sqrt{140^2 - 39,9^2} = 1440.$$

чавунний валок $0,375\sigma_1 + 0,625 \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \left(\frac{[M]_2' / 2 / 1000}{0,2d_1^3} \right)^2} = [\sigma],$

$$\begin{aligned} [M]_2' &= 200d_1^3 \sqrt{2,56([\sigma] - 0,375\sigma_1)^2 - \sigma_1^2} = \\ &= 200 \cdot 0,36^3 \sqrt{2,56(90 - 0,375 \cdot 39,9)^2 - 39,9^2} = 1057 \text{ кН}\cdot\text{м.} \end{aligned}$$

3. У якості крутного моменту, що допускається кліттю, слід прийняти мінімальне значення $[M]_1$ і $[M]_2'$, а саме $[M] = [M]_1 = 445 \text{ (778) кН}\cdot\text{м.}$

4. Зусилля прокатки, що допускається міцністю шийок і бочки перешліфованих опорних валків при п'ятикратному запасі,

$$\frac{[Y]_1 / 2 \cdot l_{13}}{0,1d_6^3} = [\sigma], \quad [Y]_1 = \frac{0,2d_6^3 [\sigma]}{l_{13}} = \frac{0,2 \cdot 1,148^3 \cdot 120}{0,635} = 57,18,$$

$$\frac{[Y]_2 / 4 \cdot (L_4 - L/2)}{0,1D_2^3} = [\sigma], \quad [Y]_2 = \frac{0,8 \cdot D_2^3 \cdot [\sigma]}{2L_4 - L} = \frac{0,8 \cdot 1,52^3 \cdot 120}{2 \cdot 2,72 - 1,45} = 84,49 \text{ МН.}$$

5. Зусилля прокатки, що допускається контактною міцністю опорних валків, більш м'яких у порівнянні з робочими,

$$0,418 \sqrt{\frac{[Y]_3 E_{np1}}{LR_{np1}}} = [\sigma_\kappa],$$

$$[Y]_3 = \frac{5,72[\sigma_\kappa]^2 LR_{np1}}{E_{np1}} = \frac{5,72 \cdot 2200^2 \cdot 1,45 \cdot 0,221}{2,1 \cdot 10^5} = 42,21 \text{ (46,43) МН.}$$

6. Зусилля прокатки, яке допускається ПРТ при $[q] = 16,5 \text{ МПа}$

$$\frac{[Y]_4 / 2}{d^2(l/d)} = [q], \quad [Y]_4 = 2d^2(l/d)[q] = 2 \cdot 1,18^2 \cdot 0,75 \cdot 16,5 = 34,46 \text{ МН.}$$

7. Зусилля прокатки, яке допускається кліттю, - це мінімальне з отриманих значень $[Y] = [Y]_4 = 34,46 > 2Y_0 = 2 \cdot 14,34 = 28,68$ МН.

2.3 Загальне компоювання головної лінії прокатної кліті

При компоюванні головної лінії прокатної кліті визначається положення розбивних осей та габаритні розміри комплексу, рівні окремих його складових частин відносно полу цеху, а також сукупні фізичні характеристики. На рис. 2.5а зображена компоювка лінії кліті холодної прокатки. У компоюванні кліті гарячої прокатки (рис. 2.5б) виключено індивідуальний двигун верхнього валка з проміжним валом і розмірами L16, L15, l27, U4, а здвоєний редуктор замінений шестеренною кліттю.

При кресленні головної лінії прокатної кліті обладнання слід розмістити на фундаментах, хоча їхнє проектування не входить до компетенції прокатника-технолога. Рис. 2.6 ілюструє можливу конструкцію фундаменту під кліть. Видно тунель з каналом для змиву окалини або видалення емульсії, місце для розміщення пристроїв для зміни валків, показано положення плитовин, на яких встановлюється кліть. Глибину закладення фундаменту під кліть можна порівняти з її висотою над рівнем U_1 .

До кожного якоря крізь товщу залізобетону йдуть вентиляційні канали шириною порядку $2l_{30}$. Ці канали видно в розрізі фундаменту по осі лінії у разі безредукторного приводу кліті або через шестеренну кліть. Якщо ж кліть приводиться через здвоєний редуктор, складний розріз можна зробити по осях кліті і тільки одного з двигунів, тоді вісь другого двигуна в площину, що січе, не потрапить.

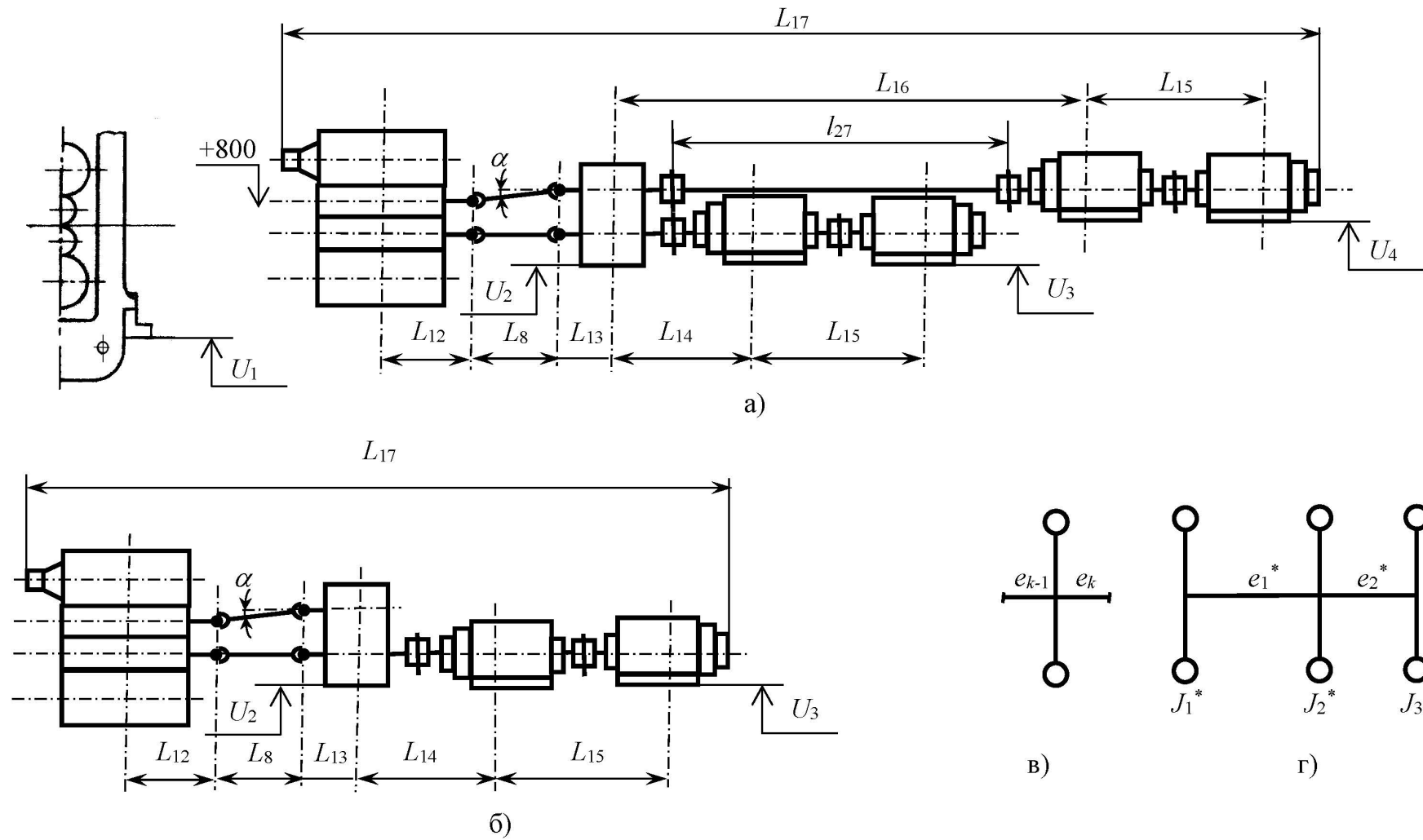


Рисунок 2.5 – Компонування лінії кліті холодної прокатки (а), гарячої прокатки (б), одномасова парціальна (в) та тримасова еквівалентна (г) схеми

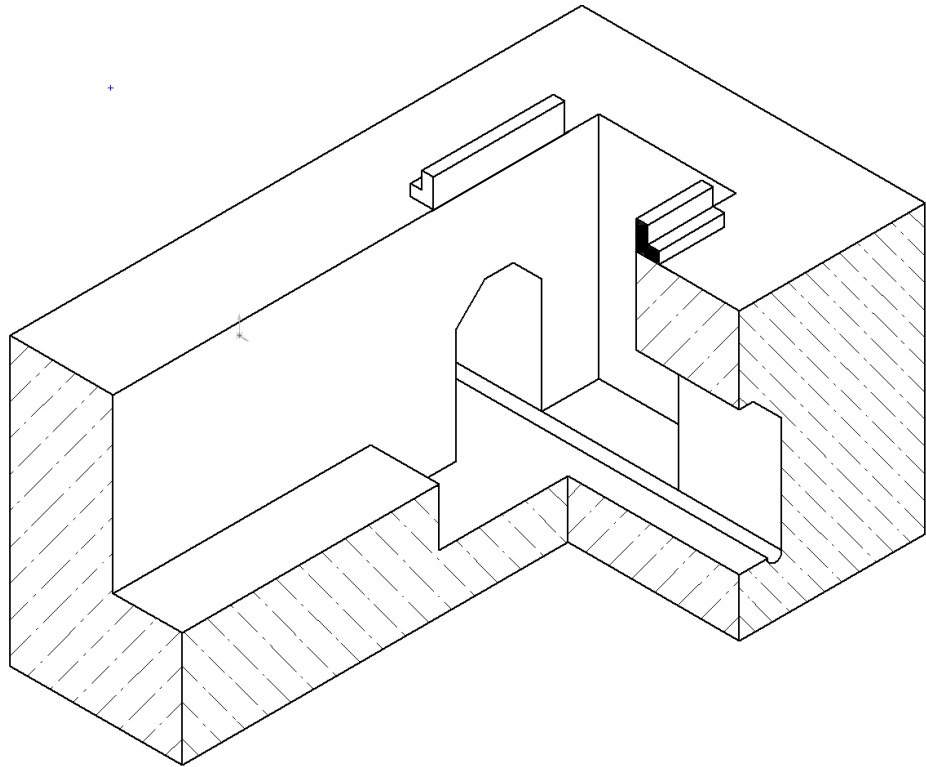


Рисунок 2.6 – Фундамент під прокатну кліть

2.4 Управління площинністю штаби у лінії стану гарячої прокатки на основі візуального контролю

Попит на високоякісну сталеву штабу збільшується, особливо на прокат з жорсткішими допусками на профіль поперечного перерізу та площинність. Операторам прокатних станів необхідні технологічні рішення, які виключають клиноподібність профілю, що викликається багатьма факторами, включаючи температурний профіль валків і незбалансований поперечний профіль штаби.

Ці фактори впливають не тільки на якість прокатої штаби, але й можуть призводити до порушення процесу прокатки та пошкодження прокатного обладнання.

Попит на високоякісну сталеву штабу в рулонах спонукає виробників спиратися на успішні рішення в теорії управління, вимірювальної техніки та машинному устаткуванні для підвищення продуктивності, ефективності

виробництва та якості продукції, що випускається. Основними характеристиками якості прокатої штаби є механічні властивості матеріалу, мінімальні допуски по товщині та ширині, форма поперечного перетину та площинність.

Зазвичай профіль поперечного перерізу штаби, що прокочуються, формують на широкоштабовому стані гарячої прокатки (ШСП) за допомогою автоматизованих систем регулювання геометрії розкату по ширині штаби та налаштування стану. На наступних етапах обробки зберігають поперечний профіль та контролюють площинність штаби. Коливання форми поперечного перерізу по довжині штаби можуть знижувати стійкість штаби в лінії стану і призводити до втрати площинності. Тому важливо, щоб гарячекатана рулонна штаба мала постійну форму поперечного перерізу по всій довжині.

Оператори прокатного стану завжди чекають технологічні рішення, що дозволяють знижувати опуклість профілю по поперечному перетину, яка виникає через численні некеровані фактори, такі як температурний профіль валків і профіль розкату з незбалансованою товщиною. Неконтрольоване зростання на стані клиновидності профілю може порушувати стабільність і стати основною проблемою при заправці штаби, що прокатується, у валки, яка може викликати «забурювання» штаби в кліті та ушкодження прокатного обладнання.

Основними виконавчими механізмами для управління профілем поперечного перерізу штаби на широкоштабовому стані гарячої прокатки є вирівнювання (зміщення положення штаби, що прокатується щодо бочки робочого валка) та вигин робочих валків. Вирівнювання шляхом зміщення штаби вздовж бочки робочих валків використовують для впливу на клиноподібність поперечного профілю та серповидність, тоді як противигин та осьове зміщення робочих валків – для управління профілем поперечного перерізу та площинністю штаби. Однак для штаби без натягу таке вирівнювання робочих валків пов'язане зі зростанням клиновидності.

Клиновидність профілю поперечного перетину штаби, що прокочується - це різниця між вимірюваннями товщини по ширині штаби на бічних кромках. Відомо, що товщина бічних кромок штаби на приводній стороні та стороні оператора стану відрізняються через різний ступінь обтиснення, що призводить до клиноподібності профілю поперечного перетину штаби.

Компанія Primetals Technologies (Німеччина) має рішення цієї проблеми [22], яке рекомендується для впровадження на ПАТ «Запоріжсталь» при запланованій реконструкції стану ШСГП 1680.

Розроблене рішення для підвищення стабільності захвату штаби валками та зниження клиновидності профілю штаби в лінії стану використовує найновіше вимірювальне обладнання Primetals Technologies на основі візуального контролю. Такий контроль поєднаний з передовою технологією автоматичного управління процесами заправки штаби в прокатні валки, захвату штаби та виходу штаби із валків. Основними цілями нового рішення управління є підвищення готовності прокатного стану та його продуктивності за рахунок зниження нерівномірності розподілу товщини по ширині штаби. Додатковим завданням є підвищення якості прокату матеріалу щодо клиноподібності профілю поперечного перерізу.

Вимірювання за допомогою відеосистеми

Надійний датчик – основа надійної стратегії керування процесом прокатки. У зоні чистової групи клітей широкоштабового стану гарячої прокатки докільця забруднене пилом і охолоджувальною водою. Крім того, непередбачувані шматки окалини та коливання температури (які в основному впливають на поведінку головної та хвостової частин штаби при захопленні валками та виході з валків), а також стан бічних кромок на всій довжині штаби можуть негативно впливати на поверхню штаби. Застосування вимірювальних датчиків поблизу гарячої штаби в такому середовищі практично неможливо.

Для вирішення описаних вище завдань управління процесом потрібен пристрій для вимірювання форми поперечного профілю (клиновидності) та

розташування штаби щодо осьової лінії бочки робочих валків прокатного стану. Застосований вимірювальний пристрій заснований на оптичній техніці виміру [22]. Цей комбінований пристрій дозволяє точно оцінювати форму поперечного перерізу штаби (клиновидність/серповидність) та положення штаби щодо осьової лінії стану, а також може вимірювати ширину штаби (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Датчик ShapeMon

Перевагами такого методу вимірювання є низька кількість залучених компонентів, простота розташування датчика, значна відстань між датчиком і штабою, що прокатується. Це забезпечує його надійну роботу практично без необхідності технічного обслуговування. На рис. 2.8 показано розташування датчиків на прокатному стані. Кожна чистова кліть стану оснащена одним таким пристроєм.

На рис. 2.9 наведено схему автоматизованої системи STC (Strip Threading Control) – системи управління процесом заправки розкату в прокатні кліті чистової групи НШСГП, показані її основні компоненти та регулятори.

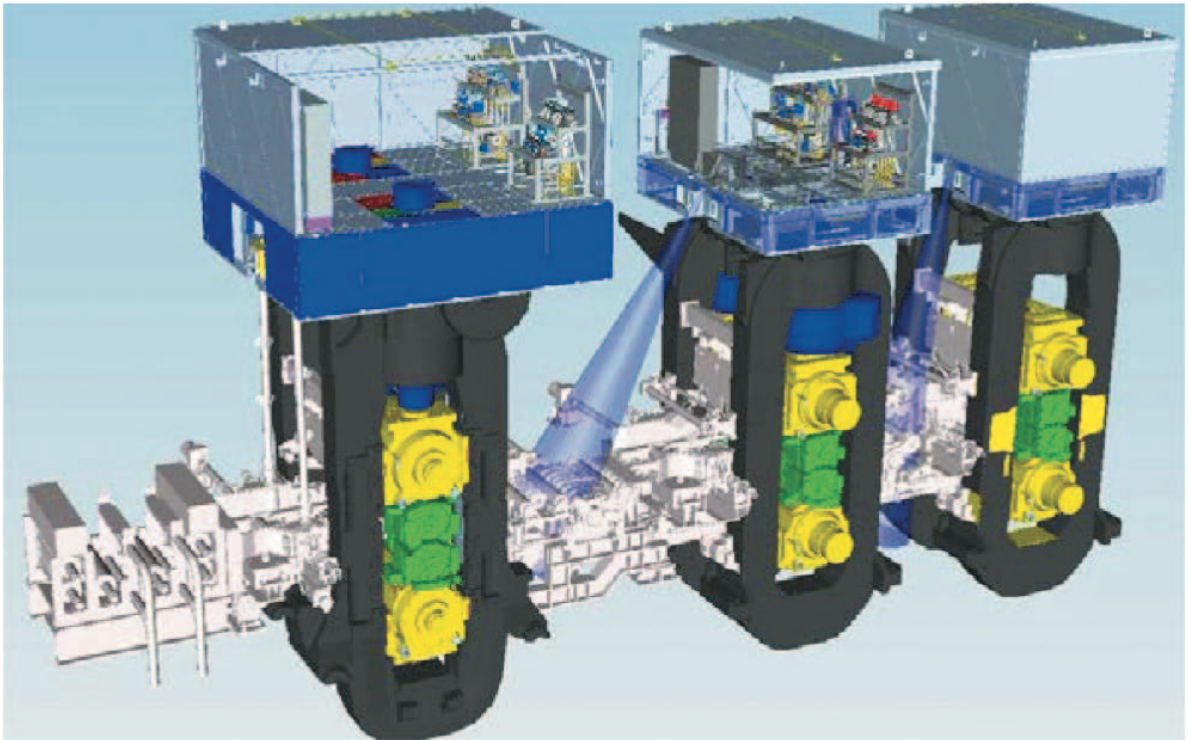


Рисунок 2.8 – Розміщення датчиків в чистовій групі клітей стану

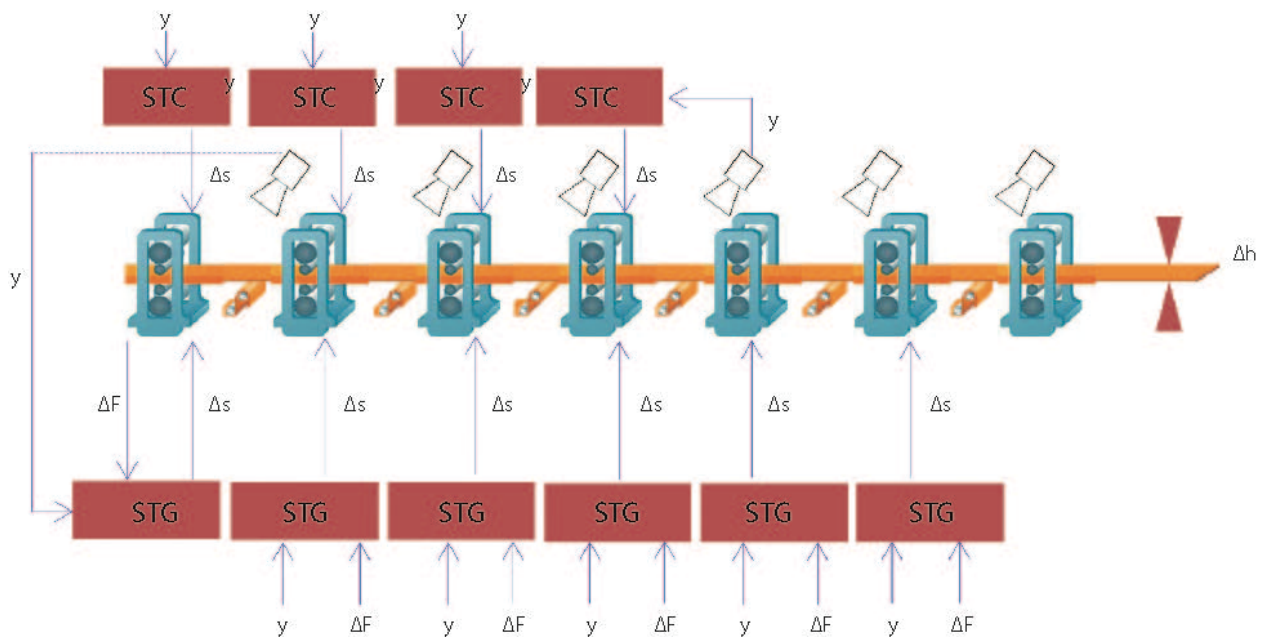


Рисунок 2.9 – Схематичне представлення регуляторів положення штаби, що прокатується в лінії чистової групи клітей

Автоматичне управління процесом входу розкату в міжвалковий зазор активується лише під час проходження штаби, що прокатується через перші чотири кліти чистової групи. Контролер використовує результати оцінки становища головної частини штаби щодо осової лінії стану перед входом у кліть за допомогою вимірювального обладнання з урахуванням відеосистеми. Ці системи візуального контролю розміщені після кожної кліти для забезпечення автоматичного напрямку штаби у валки наступної кліти.

Система зміщення штаби, що прокочується, вздовж бочки робочих валків STG (Strip Guidance Control) активується коли штаба вже перебуває під натягом. Вона працює до тих пір, поки штаба не залишить міжвалковий розчин попередньої кліти. Основне завдання системи STG – підтримувати клиноподібність профілю поперечного перерізу штаби (Δh) на постійному рівні по всій довжині штаби, що прокочується. Контролер також використовує результати вимірювання положення штаби щодо осі прокатки, які отримують від вимірювальної системи візуального контролю, розміщеної після кліти. Крім цього, для формування керуючого впливу для вирівнювання використовують диференціал (різницю) зусиль прокатки на валках, що вимірюються за допомогою месдоз.

Обидва контролери – STC і STG, використовують у якості виконавчого механізму. Механізм вирівнювання – зміни положення робочих валків (Δh) для усунення клиновидності; вони працюють незалежно один від одного та активні у різні періоди часу [22].

Моделювання

Перед впровадженням системи у реальних умовах прокатного виробництва нова стратегія управління була ретельно протестована з проведенням численних імітаційних досліджень на розробленій комп'ютерній імітаційній моделі повного процесу проходження штабою лінії прокатного стану. Модель включає два пов'язані підмодуля: так звану модель Free Strip,

реалізовану у структурі програмного забезпечення HOTINT [22], та модель Roll Gap, реалізовану в окремій динамічно пов'язаній бібліотеці.

Програмне забезпечення дозволяє розробникам не лише проводити автономні дослідження (рис. 2.10) повного руху штаби, що прокочується в лінії стану, але також надає інтерфейс для програми MATLAB/Simulink, в якій реалізований контролер. Колірна гама відображає еквівалентні напруги (напруги по фон Мізесу) у штабі, що досягають свого максимуму (червоний колір) у зонах пластичної деформації.

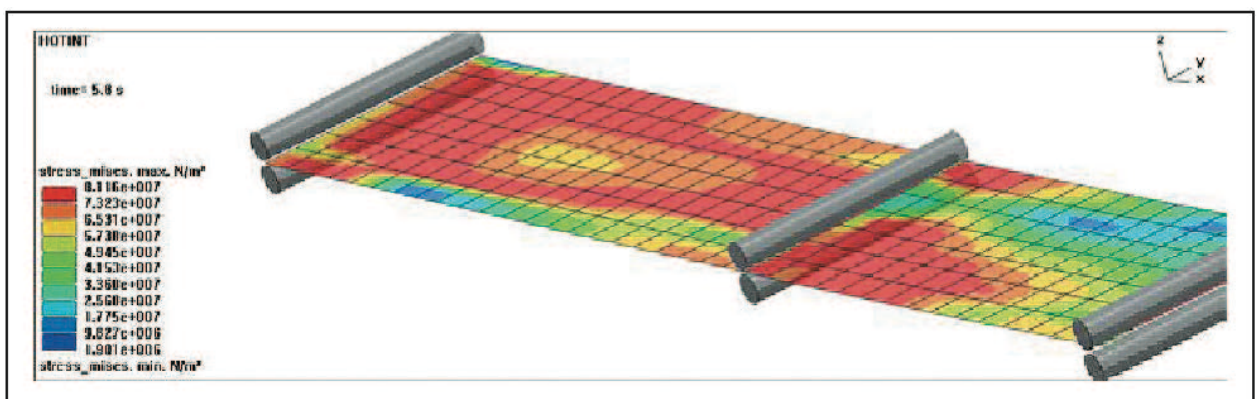


Рисунок 2.10 – Об'єднане симуляційне моделювання процесу гарячої прокатки штаби, що показує перші послідовні проходи у трьох прокатних клітках

Бокове зміщення штаби, що прокочується, є домінуючим фактором впливу на клиноподібність поперечного профілю. Якщо штаба прокочується не по осевій лінії бочки робочих валків, то вона відчуває асиметричні умови обтискання по ширині міжвалкового зазору. Це є наслідком температурного розширення та зносу робочих валків, а також дії виконавчих механізмів регулювання міжвалкового зазору (осьове зміщення, гідровигин, перехрещення валків), включаючи шліфування робочих валків. Тому до існуючого замкнутого контуру управління між диференціалом зусилля прокатки та величиною вирівнювання положення валків було додано

попереджувальне керування, що включає поперечне зміщення штаби для усунення клиновидності (рис. 2.11).

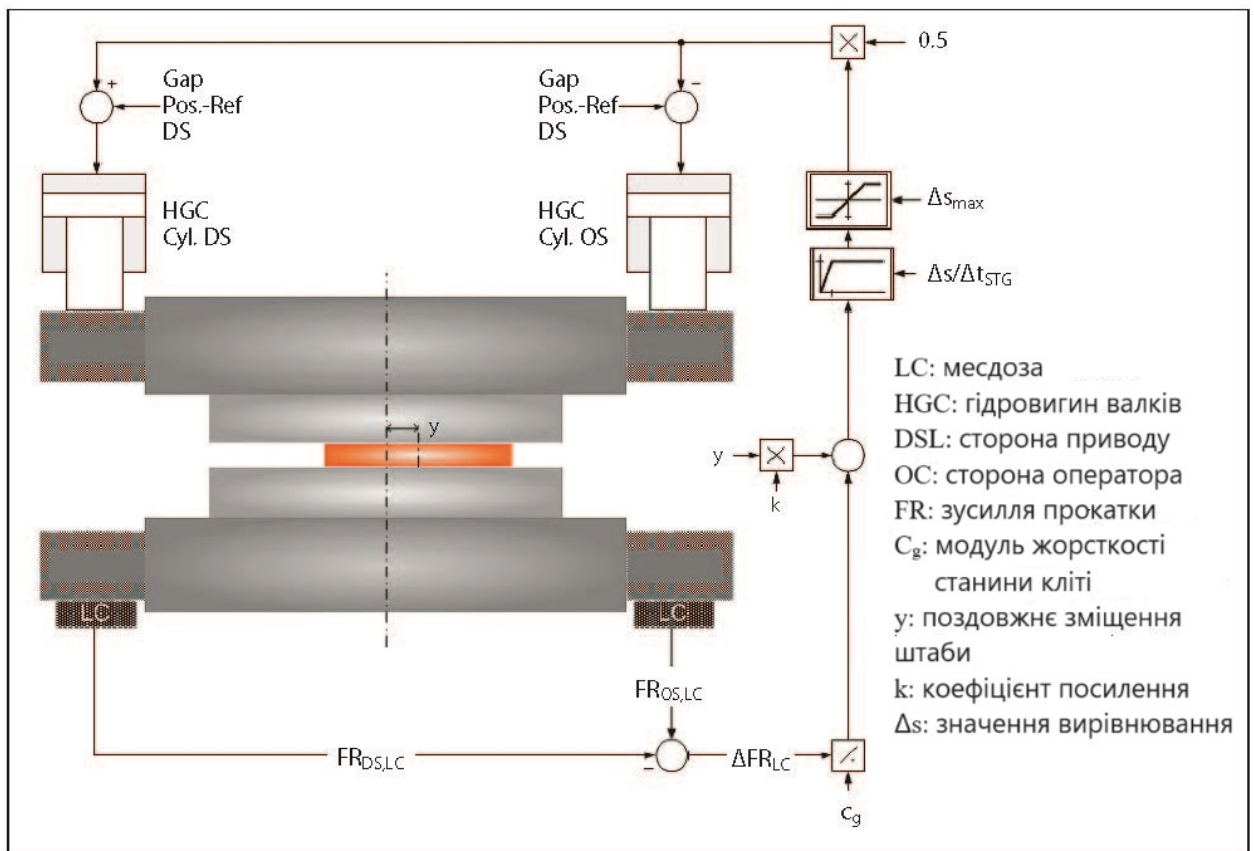


Рисунок 2.11 – Структура системи управління для регулювання положення штаби, що прокатується на бочці робочих валків

Розроблений контролер та вимірювальне обладнання тепер регулярно експлуатуються на металургійному заводі компанії Thyssenkrupp Steel Europe у Дуйсбурзі, Німеччина.

Запропонована система регулювання перспективна для реалізації в умовах ПАТ «Запоріжсталь» при реконструкції ШСГП 1680, що забезпечить значне покращення якості продукції і знизить втрати металу у брак.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Алгоритм розрахунку коефіцієнта плеча моменту

У бакалаврській роботі виконується розрахунок коефіцієнта положення рівнодіючої сил з урахуванням пружних деформацій валків і штаби для трьох варіантів при $D_{\text{раб.в.}} = 600$ мм; $v = 5$ м/с; $R_a = 1,5$; $R_{\text{ап}} = 0,75$; $t_n = 25^\circ\text{C}$; Ст 08кп:

Варіант №1: При постійній величині вихідної товщини $H=2$ мм і обтисненні $\Delta h = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6; 0,8; 1$ мм;

Варіант №2: При постійній кінцевій товщині штаби $h = 1$ мм і обтисненні $\Delta h = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1$ мм;

Варіант №3: При постійному обтисненні $\Delta h = 0,5$ мм і початковій товщині штаби $H = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 10$ мм.

Для цього у роботі виконували розрахунок контактних напружень за формулами О.І. Целікова і В.О. Ніколаєва і будували епюри розподілення цих напружень по довжині сплющеної дуги контакту у програмі AutoCAD Mechanical 2020, яка з легкістю дозволяє визначити площі фігур епюри і знайти їх центри тяжкості. По отриманим епюрам розподілення контактних напружень знаходили значення плеча моменту і коефіцієнта плеча моменту.

3.2 Розрахунок параметрів осередку деформації і енергосилових параметрів прокатки

Для визначення контактних напружень і побудови епюр розподілення контактних напружень по довжині дуги контакту необхідно знати параметри осередку деформації і енергосилові параметри.

Виконаємо розрахунок для першого варіанту при наступних вихідних даних:

$H=2$ мм; $h=1,5$ мм; $B=1250$ мм; мастило емульсія мінерального масла; $R_a=1,5$; $R_{\text{ап}}=0,75$; $D_{\text{в.раб.}}=600$ мм; $v=5$ м/с; $t_{\text{нач}}=25^\circ\text{C}$; Ст 08кп.

1. Визначимо коефіцієнт тертя

$$f = f_0 \cdot k_d \cdot k_n \cdot k_{cm} \cdot k_t \quad (3.1)$$

де f_0 - базовий коефіцієнт тертя; k_d , k_n , k_{cm} , k_t - поправочні коефіцієнти, які враховують відповідно величини обтиску, шороховатість поверхні штаби, тип технологічного мастила и початкову температуру металу.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює:

при $v < 7,5$ м/с

$$f_0 = 0,076 - 0,0019v + 0,031(Ra - 0,6) \left[(1,07 - 0,14v)^3 + 0,054v - 0,26 \right] \quad (3.2)$$

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 5 + 0,031(1,5 - 0,6) \left[(1,07 - 0,14 \cdot 5)^3 + 0,054 \cdot 5 - 0,26 \right] = 0,068$$

Коефіцієнт k_d дорівнює:

$$k_d = 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_n(1 - 3,33 \cdot \varepsilon) \quad (3.3)$$

Відносний обтиск дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{H - h}{h} = \frac{2 - 1,5}{2} = 0,25$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,25 + 0,165 \cdot 1,5(1 - 3,33 \cdot 0,25) = 0,983$$

Коефіцієнт k_n дорівнює:

$$k_n = 1,09 - 0,05 \cdot R_{an} \quad (3.4)$$

$$k_n = 1,09 - 0,05 \cdot 0,75 = 1,05$$

Коефіцієнт k_t визначимо за формулою:

$$k_t = a + c(1,11 - 0,0044 \cdot t_H)^n \quad (3.5)$$

де t_H - температура металу перед осередком деформації, °С; a , c , n - коефіцієнти, які для мінеральної емульсії дорівнюють:

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot \varepsilon; \quad c = 1,2 - 2,8 \cdot \varepsilon; \quad n = 3,84 - 5,7 \cdot \varepsilon;$$

$$a = 0,31 + 0,17 \cdot 0,25 = 0,735$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,25 = 0,5$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,25 = 2,41$$

$$k_t = 0,735 + 0,5 \left(1,11 - 0,0044 \cdot 25 \right)^{2,41} = 1,235$$

Коефіцієнт k_{cm} для емульсії мінерального масла 1.

Коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f = 0,068 \cdot 0,983 \cdot 1,05 \cdot 1,235 \cdot 1 = 0,087$$

Показник тертя дорівнює:

$$f_n = 1,6f - 0,018; \quad (3.6)$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,087 - 0,018 = 0,137.$$

2. Розраховуємо напруження плинину металу. Сталь марки 08кп містить наступні елементи (%): (0,05 ... 0,12) C; $\leq 0,03$ Si; (0,25 ... 0,5) Mn.

Вуглецевий еквівалент дорівнює:

$$C_3 = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4} \quad (3.7)$$

$$C_3 = 0,12 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,03}{24} = 0,204$$

Базове (вихідне) напруження плинину і його приріст за рахунок зміцнення:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{T0} &= 210 + 263C_3; \\ \Delta\sigma_T &= 209 + 460C_3. \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

$$\Delta\sigma_{T0} = 240 + 263 \cdot 0,204 = 263,8 \text{ Н/мм}^2$$

$$\Delta\sigma_T = 209 + 460 \cdot 0,204 = 303,1 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\phi_0} = 1,15 \cdot \sigma_{T0} \quad (3.9)$$

$$\sigma_{\phi_0} = 1,15 \cdot 263,8 = 303,37 \text{ Н / мм}^2$$

для $\varepsilon_\Sigma = 0 \dots 0,4$

$$k_\varepsilon = 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_\Sigma}{0,4} \right)^{1,5+C} \quad (3.10)$$

$$k_\varepsilon = 1 - \left(1 - \frac{0,25}{0,4} \right)^{1,5+0,12} = 0,795$$

Напруження плинину металу після кліті визначають за формулою:

$$\sigma_{m1} = \sigma_{mo} + \Delta\sigma_m \cdot k_\varepsilon \quad (3.11)$$

$$\sigma_{T1} = 263,8 + 303,1 \cdot 0,795 = 505 \text{ Н / мм}^2$$

$$\sigma_{\phi_1} = 1,15 \cdot \sigma_{T1} \quad (3.12)$$

$$\sigma_{\phi_1} = 1,15 \cdot 505 = 580,75 \text{ Н / мм}^2$$

Напруження плинину металу після кліті з урахуванням температури і швидкості деформації:

$$\sigma'_{T1} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_\varepsilon \quad (3.13)$$

n_u, n_t - коефіцієнти, що враховують швидкість і температуру деформації:

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln u}{13,8} \right)^2 \quad (3.14)$$

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

Швидкість деформації визначаємо за формулою:

$$u = v \cdot \varepsilon / l_c \quad (3.15)$$

де l_c - довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби.

Попередньо визначимо довжину дуги контакту за формулою:

$$l_c = [1,3 + 4,1(\varepsilon_\Sigma - 0,2)^3] \sqrt{R\Delta h} \quad (3.16)$$

$$l_c = [1,3 + 4,1 \cdot (0,25 - 0,2)^3] \sqrt{300 \cdot 0,5} = 15,92 \text{ мм}$$

$$u = \frac{5000 \cdot 0,25}{15,92} = 78,47 \text{ с}^{-1}$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 78,47}{13,8} \right)^2 = 1,253$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{25}{300} \right)^2 = 0,993$$

Тоді отримаємо:

$$\sigma'_{m1} = 1,253 \cdot 0,993 \cdot 263,8 + 303,1 \cdot 0,795 = 569,6 \text{ Н / мм}^2$$

Напруження плинину металу на міжклітьовому проміжку при відсутності деформації:

$$\sigma_{T1} = n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta \sigma_m \cdot k_\varepsilon \quad (3.17)$$

$$\sigma_{T1} = 0,993 \cdot 263,8 + 303,1 \cdot 0,795 = 503,25 \text{ Н / мм}^2$$

Середній опір металу у вогнищі деформації:

$$\sigma_\phi = 1,15 \left[\sigma_{T(i-1)} + 0,67 (\sigma'_{T1} - \sigma_{T(i-1)}) \right] \quad (3.18)$$

$$\sigma_\phi = 1,15 [263,8 + 0,67(569,6 - 263,8)] = 538,9 \text{ Н / мм}^2$$

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

$$l'_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Delta h \left(1 - c \frac{f_n}{2h_{cp}} \right)}}{2 \left(1 - c \frac{f_n}{2h_{cp}} \right)} \quad (3.19)$$

$$c = n_{cp} \cdot \sigma_\phi \frac{R}{47500} \quad (3.20)$$

$$x_2 = n_1 \cdot \sigma_{\phi 1} \frac{R}{95000} \quad (3.21)$$

$$l_c = l'_c + x_2 \quad (3.22)$$

де R - радіус жорсткого валка; n_{cp} і n_1 - коефіцієнти, що враховують вплив середніх напружень натягіння і напруження натягіння переднього кінця штаби:

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_{II} + \sigma_3}{2\sigma_\phi}; \quad n_1 = 1 - \frac{\sigma_{II}}{\sigma_{\phi 1}}$$

де σ_{II} , σ_3 - напруження переднього і заднього натягіння.

Напруження натягіння змінюються в широких межах. $\sigma_3 = 25 \text{ Н/мм}^2$

$$\sigma_{II} = 0,15 \cdot \sigma_{T1} = 0,15 \cdot 503,25 = 75,48 \text{ Н/мм}^2$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{25 + 75,48}{2 \cdot 538,9} = 0,906$$

$$n_1 = 1 - \frac{75,48}{1,15 \cdot 580,75} \approx 0,886$$

$$c = 0,906 \cdot 538,9 \cdot \frac{300}{47500} = 3,08 \text{ мм}$$

$$x_2 \approx 0,886 \cdot 580,75 \cdot \frac{300}{95000} = 1,87 \text{ мм}$$

$$l'_c = \frac{3,08 + \sqrt{3,08^2 + 4 \cdot 300 \cdot 0,5 \left(1 - 3,08 \frac{0,137}{2 \cdot 1,75}\right)}}{2 \left(1 - 3,08 \frac{0,137}{2 \cdot 1,75}\right)} = 14,94 \text{ мм}$$

Повна довжина дуги контакту дорівнює:

$$l_c = 14,94 + 1,87 = 16,81 \text{ мм}$$

4. Знаходимо енергосилові параметри прокатки.

Середнє нормальне контактне напруження дорівнює $f_n > 0,12$, $C_H = 0,4$

$$p_{cp} = p'_{cp} \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_s}{2p'_{cp}}\right) \quad (3.23)$$

$$p'_{cp} = \sigma_\phi \left(1 + C_H \cdot f_n \cdot \frac{l_c}{h_{cp}}\right) \quad (3.24)$$

$$p'_{cp} = 538,9 \left(1 + 0,48 \cdot 0,137 \cdot \frac{16,81}{1,75}\right) = 881,03 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{cp} = 881,03 \left(1 - \frac{25 + 75,48}{2 \cdot 881,03}\right) = 830,7 \text{ Н / мм}^2$$

Сила прокатки дорівнює:

$$P = p_{cp} \cdot l_c \cdot B \quad (3.25)$$

$$P = 830,07 \cdot 0,01681 \cdot 1,25 = 17,45 \text{ МН}$$

Момент прокатки з урахуванням впливу натягнення дорівнює (на двох валках)

$$M = 2 \cdot \psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot 10^{-6} (\sigma_s - \sigma_n \frac{h}{H}) \quad (3.26)$$

ψ - коефіцієнт положення рівнодіючих сил

$$\psi = 0,48 (l_d / l_c)^2 \quad (3.27)$$

$$\psi = 0,48 \left(\frac{\sqrt{300 \cdot 0,5}}{16,81} \right)^2 = 0,254$$

Крутний момент на двох валках:

$$M = 2 \cdot 0,254 \cdot 17,45 \cdot 16,81 + 2 \cdot 1250 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6} (25 - 0,7548 \frac{1,5}{2}) = 0,149 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

Потужність на бочці валків

$$N = \frac{960 \cdot M \cdot v}{R} \quad (3.28)$$

$$N = \frac{960 \cdot 0,148 \cdot 5}{0,3} = 2388,8 \text{ кВт}$$

Розрахунок енергосилових параметрів для інших обтисків та інших варіантів робиться аналогічно, результати розрахунку зведені у відповідні таблиці. Параметри осередку деформації і енергосилові параметри для варіанту №1 вказані у таблиці 3.1, для варіанту №2 у таблиці 3.2, для варіанту №3 у таблиці 3.3. На рис. 3.1 – 3.3 наведено графіки залежностей енергосилових параметрів прокатки від обтиснення і початкової товщини штаби. Як можна побачити, чим більше обтиснення, тим більше енергосилові параметри. З іншого боку, чим більше початкова товщина штаби, тим енергосилові параметри менше при однаковому обтисненні.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку параметрів осередку деформації і енергосилових параметрів при постійному $H = 2$ мм. ($\Delta h = 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6; 0,8; 1$). $D_{\text{раб.в.}} = 600$ мм; $v = 5$ м/с; $R_a = 1,5$; $R_{\text{ап}} = 0,75$; $t_H = 25^\circ\text{C}$ (Варіант №1)

H, мм	h, мм	Δh , мм	ε	f	$f_{\text{п}}$	σ_0 , Н/мм ²	$\Delta\sigma$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{п}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{тф0}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{тф1}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{ф}}$, Н/мм ²	$l/h_{\text{ср}}$
2	1,9	0,1	0,05	0,082	0,13	263,8	303,1	322,7	303,37	371,2	391,6	4,22
2	1,8	0,2	0,1	0,084	0,133	263,8	303,1	376,7	303,37	433,22	436,1	5,78
2	1,7	0,3	0,15	0,085	0,135	263,8	303,1	425,3	303,37	489,16	475,3	7,13
2	1,5	0,5	0,25	0,087	0,137	263,8	303,1	505,03	303,37	580,79	538,9	9,6
2	1,4	0,6	0,3	0,0872	0,068	263,8	303,1	534,8	303,37	615,05	562,7	10,78
2	1,2	0,8	0,4	0,0863	0,068	263,8	303,1	566,9	303,37	651,9	588,5	13,07
2	1	1	0,5	0,084	0,068	263,8	303,1	610,04	303,37	701,5	622,32	15,57

Продовження таблиці 3.1

Δh , мм	σ_z , Н/мм ²	$\sigma_{\text{п}}$, Н/мм ²	$h_{\text{ср}}$, мм	$l_{\text{с}}$, мм	$l_{\text{с}}$, мм	$p_{\text{ср}}$, Н/мм ²	P, Н	ψ	M, МНм	N, кВт	l_d , мм	l/l_d
0,1	25	48,14	1,95	7,03	8,23	458,8	4,7	0,21	0,016	261,8	5,47	1,5
0,2	25	56,24	1,9	9,59	10,98	557	7,65	0,23	0,039	638,6	7,74	1,41
0,3	25	65,53	1,85	11,6	13,2	651,5	10,7	0,24	0,07	1122	9,48	1,39
0,5	25	75,5	1,75	14,94	16,81	830,7	17,4	0,254	0,14	2388	12,24	1,37
0,6	25	79,95	1,7	16,36	18,34	911,39	20,89	0,256	0,196	3146,07	13,41	1,36
0,8	25	84,77	1,6	18,82	20,92	1042,2	27,26	0,263	0,299	4799,49	15,49	1,35
1	25	91,24	1,5	21,1	23,36	1204,5	35,17	0,263	0,433	6935,8	17,32	1,34

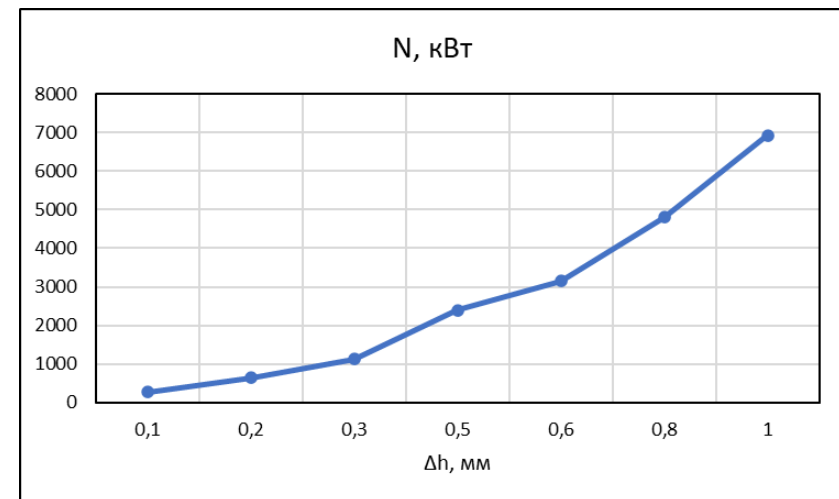
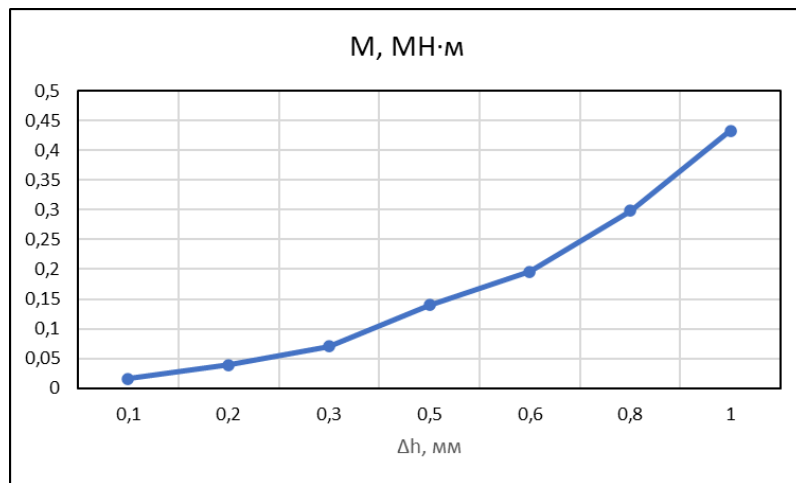
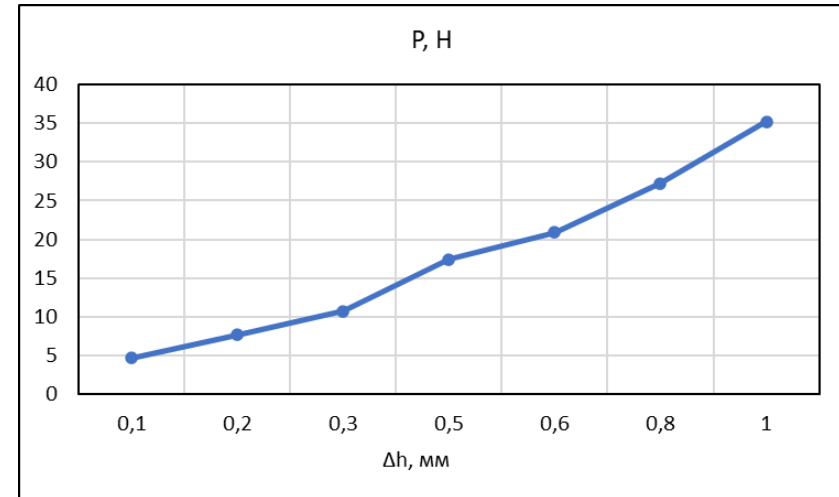
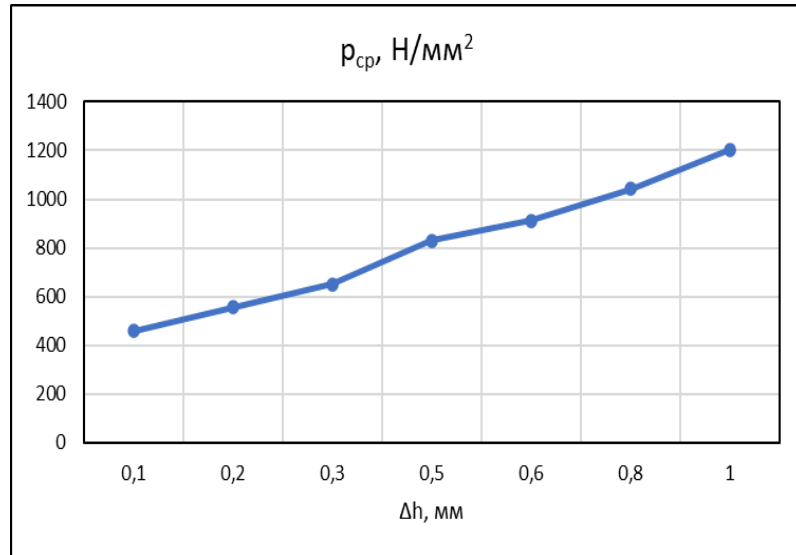


Рисунок 3.1 – Енергосилові параметри прокатки при постійній величині вихідної товщини штаби $H=2 \text{ мм}$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку параметрів осередку деформації і енергосилові параметри при постійному $h=1$ мм . ($\Delta h=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1$). $D_{\text{раб.в.}} = 600$ мм; $v = 5$ м/с; $R_a = 1,5$; $R_{\text{ан}} = 0,75$; $t_{\text{н}} = 25^\circ\text{C}$ (Варіант №2)

H, мм	h, мм	Δh , мм	ε	f	$f_{\text{н}}$	$\sigma_{\text{то}}$, Н/мм ²	$\Delta\sigma_{\text{T}}$, Н/мм ²	σ_{T1} , Н/мм ²	$\sigma_{\text{Tф0}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{Tф1}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{ф}}$, Н/мм ²	l/h_{cp}
1,1	1	0,1	0,09	0,084	0,133	263,8	303,1	367,2	303,3	422,3	431	8,36
1,2	1	0,2	0,16	0,086	0,135	263,8	303,1	440	303,3	506,3	489,6	10,9
1,3	1	0,3	0,23	0,087	0,137	263,8	303,1	491,6	303,3	565,43	530,2	12,45
1,4	1	0,4	0,28	0,0872	0,137	263,8	303,1	527,08	303,3	606,1	558,1	13,49
1,5	1	0,5	0,33	0,0871	0,137	263,8	303,1	550,2	303,3	632,8	576,4	14,19
1,6	1	0,6	0,37	0,0867	0,136	263,8	303,1	563,5	303,3	648,04	586,7	14,66
1,7	1	0,7	0,41	0,086	0,136	263,8	303,1	595,5	303,3	684,8	611,4	15,14
1,8	1	0,8	0,44	0,085	0,135	263,8	303,1	622,5	303,3	715,8	632,2	15,49
1,9	1	0,9	0,47	0,084	0,133	263,8	303,1	638,4	303,3	734,2	644,4	15,69
2	1	1	0,5	0,084	0,132	263,8	303,1	650,3	303,3	747,85	653,3	15,82

Продовження таблиці 3.2

Δh , мм	σ_z , Н/мм ²	$\sigma_{\text{п}}$, Н/мм ²	h_{cp} , мм	p_{cp} , Н/мм ²	P, Н	ψ	M, МН·м	N, кВт	l_c , мм	l_s , мм	l_d , мм	l/l_d
0,1	25	54,82	1,05	621,5	6,82	0,186	0,02	356,3	7,6	8,78	5,47	1,6
0,2	25	65,78	1,1	793,2	11,9	0,199	0,05	911,7	10,3	12,01	7,74	1,55
0,3	25	73,48	1,15	916,75	16,4	0,21	0,098	1581,6	12,5	14,32	9,48	1,51
0,4	25	78,79	1,2	1004,6	20,3	0,219	0,144	2312,03	14,23	16,19	10,95	1,47
0,5	25	82,27	1,25	1063,3	23,5	0,22	0,191	3059,7	15,7	17,74	12,24	1,44
0,6	25	84,26	1,3	1097,8	26,15	0,237	0,236	3791,5	16,97	19,05	13,41	1,42
0,7	25	89,06	1,35	1159,3	29,6	0,241	0,291	4671,5	18,23	20,44	14,49	1,41
0,8	25	93,1	1,4	1208	32,75	0,244	0,347	5563,7	19,3	21,69	15,49	1,4
0,9	1	95,5	1,45	1234,2	35,1	0,25	0,399	6395,2	20,39	22,76	16,43	1,38
1	1	97,27	1,5	1250,5	37,1	0,255	0,45	7200	21,33	23,74	17,32	1,37

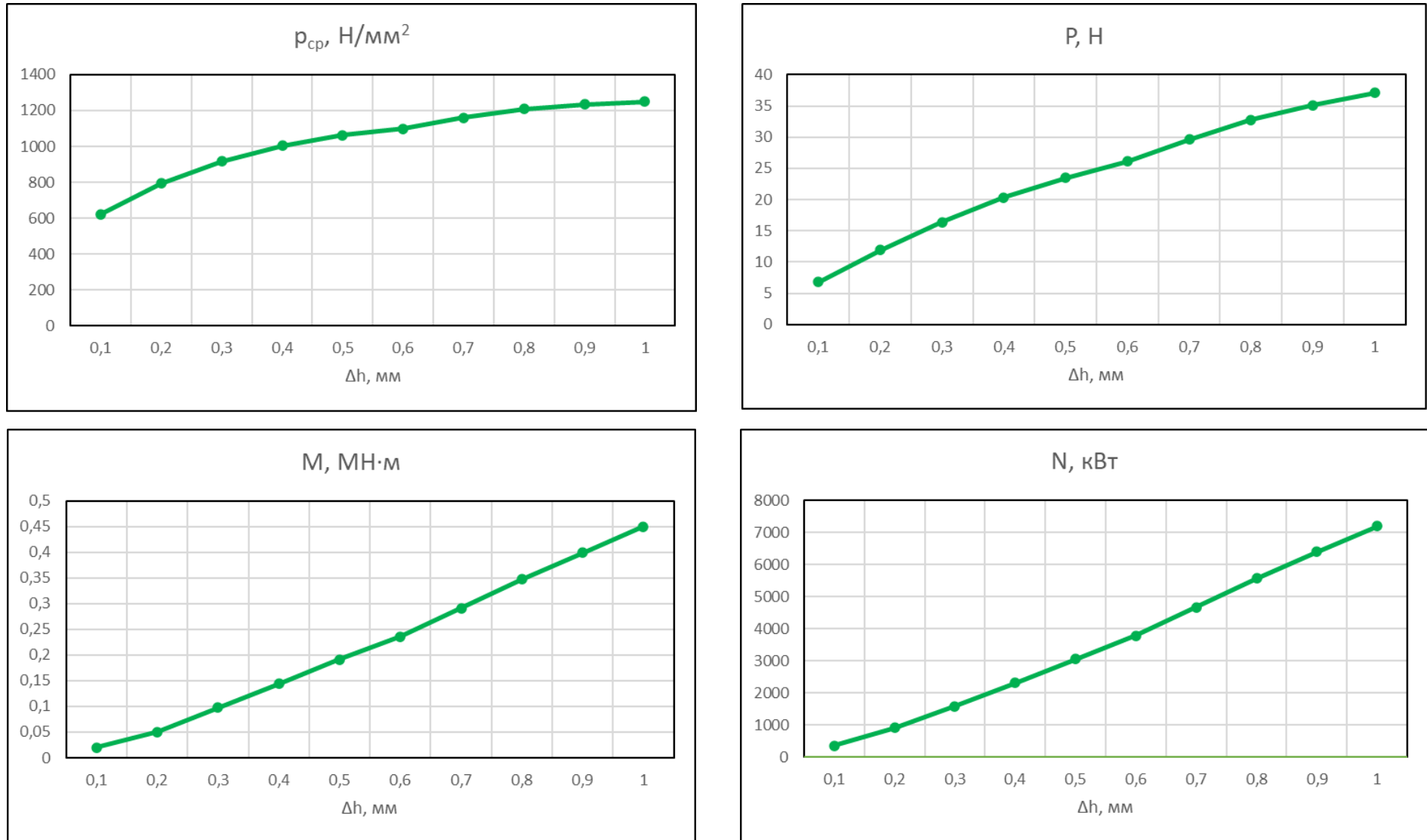


Рисунок 3.2 – Енергосилові параметри прокатки при постійній кінцевій товщині штаби $h = 1$ мм

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку параметрів осередку деформації і енергосилових параметрів при постійному обтисненні $\Delta h = 0,5$ мм і початковій товщині штаби $H = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 10$ мм (Варіант №3)

H, мм	h, мм	Δh , мм	ε	f	$f_{\text{п}}$	$\sigma_{\text{то}}$, Н/мм ²	$\Delta\sigma_{\text{т}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{т1}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{тф0}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{тф1}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{ф}}$, Н/мм ²	$l/h_{\text{ср}}$
1	0,5	0,5	0,5	0,084	0,132	263,8	303,1	650,3	303,3	747,85	656,6	26,8
1,5	1	0,5	0,33	0,087	0,137	263,8	303,1	550,2	303,3	632,8	576,4	13,9
2	1,5	0,5	0,25	0,087	0,137	263,8	303,1	505	303,3	580,7	538,9	9,4
2,5	2	0,5	0,2	0,086	0,136	263,8	303,1	468,3	303,3	538,5	508,6	7,1
3	2,5	0,5	0,16	0,086	0,135	263,8	303,1	440,3	303,3	506,3	485,5	5,7
4	3,5	0,5	0,12	0,085	0,134	263,8	303,1	401,7	303,3	461,9	453,2	4,07
5	4,5	0,5	0,1	0,084	0,133	263,8	303,1	376,7	303,3	433,2	432,1	3,16
6	5,5	0,5	0,083	0,084	0,132	263,8	303,1	359,3	303,3	413,2	417,2	2,58
7	6,5	0,5	0,071	0,083	0,132	263,8	303,1	346,5	303,3	398,4	406,1	2,18

Продовження таблиці 3.3

H, мм	h, мм	Δh , мм	$\sigma_{\text{з}}$, Н/мм ²	$\sigma_{\text{т}}$, Н/мм ²	$h_{\text{ср}}$, мм	$l_{\text{с}}$, мм	$l_{\text{с}}$, мм	$p_{\text{ср}}$, Н/мм ²	P, Н	ψ	M, МНм	N, кВт	$l_{\text{д}}$, мм	$l/l_{\text{д}}$
1	0,5	0,5	25	97,27	0,75	18,07	20,16	1736,9	44,4	0,171	0,312	5000	12,24	1,64
1,5	1	0,5	25	82,27	1,25	15,7	17,4	1063,3	23,5	0,228	0,191	3059	12,24	1,42
2	1,5	0,5	25	75,48	1,75	14,94	16,56	830,7	17,4	0,254	0,149	2388	12,24	1,35
2,5	2	0,5	25	69,9	2,25	14,52	16,03	702,6	14,28	0,272	0,126	2018	12,24	1,31
3	2,5	0,5	25	65,7	2,75	14,27	15,68	623,3	12,39	0,284	0,111	1789	12,24	1,28
4	3,5	0,5	25	59,9	3,75	13,97	15,27	531,5	10,2	0,301	0,095	1524	12,24	1,24
5	4,5	0,5	25	56,24	4,75	13,81	15,02	480,1	9,12	0,311	0,085	1375	12,24	1,22
6	5,5	0,5	25	53,62	5,75	13,7	14,86	446,6	8,29	0,325	0,079	1277	12,24	1,21
7	6,5	0,5	25	51,71	6,75	13,63	14,75	424,04	7,81	0,33	0,075	1211	12,24	1,2

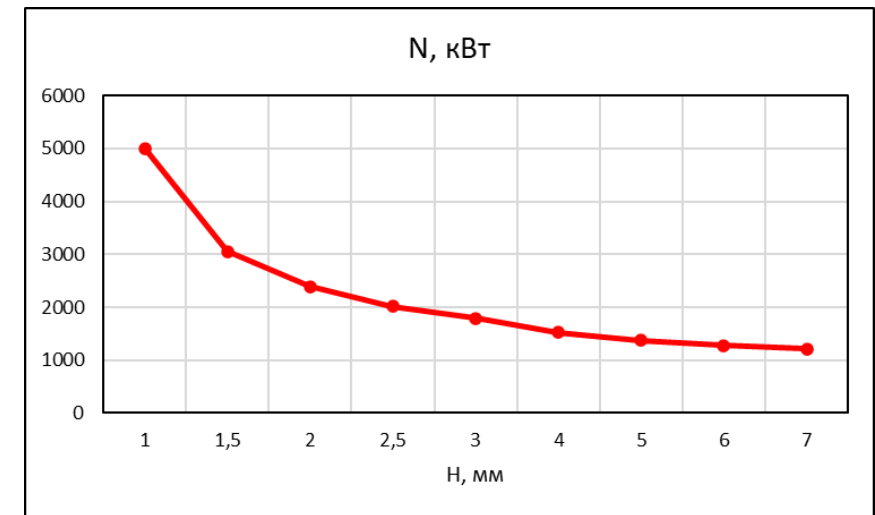
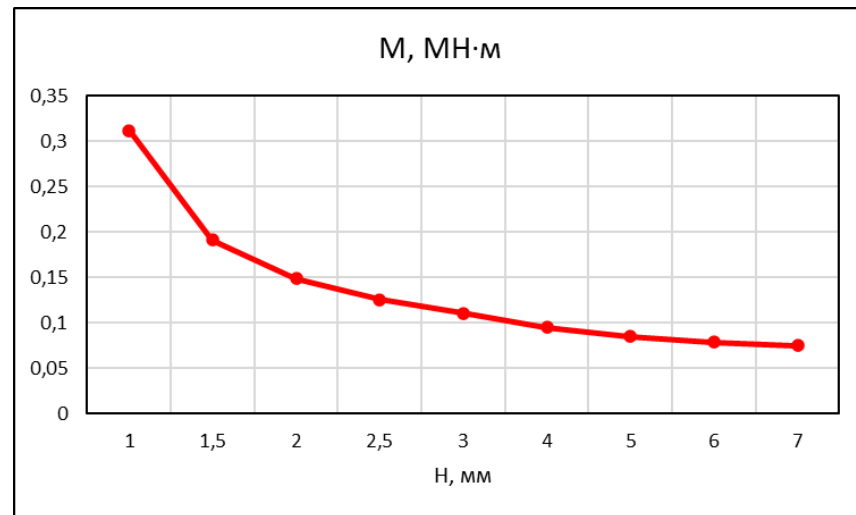
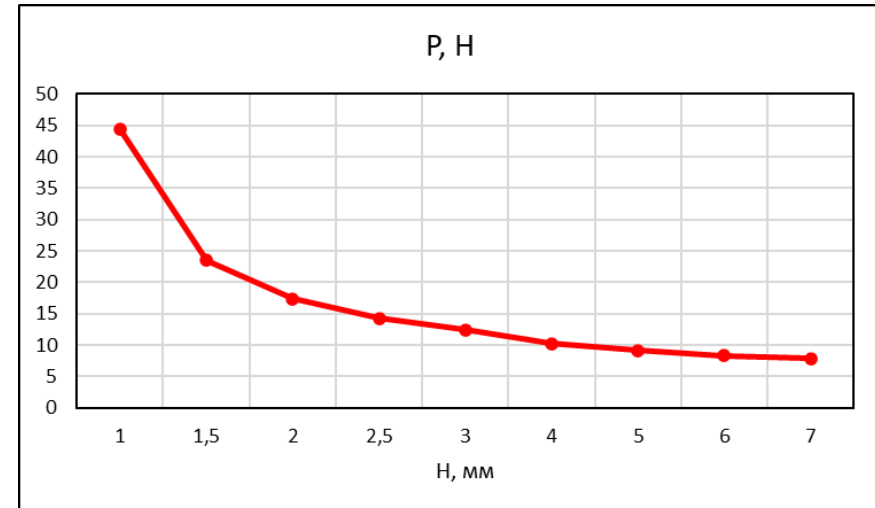
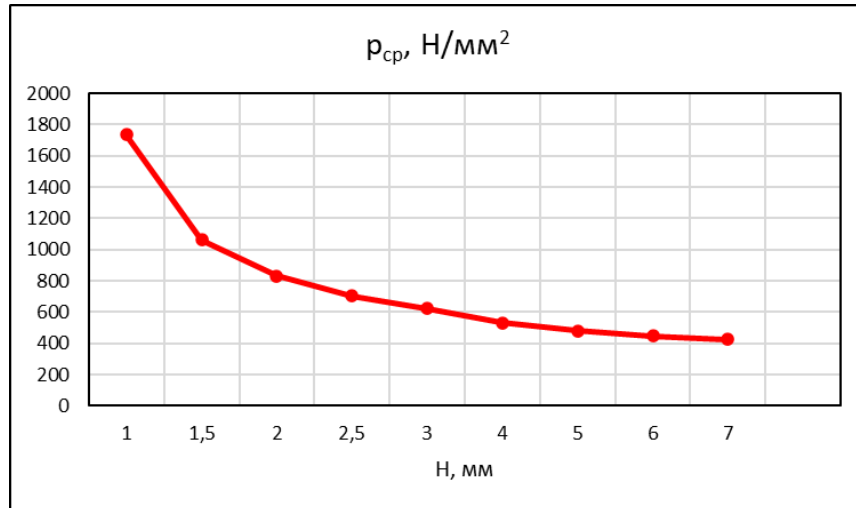


Рисунок 3.3 – Енергосилові параметри прокатки при постійному обтисненні $\Delta h = 0,5 \text{ мм}$ і початковій товщині штаби $H = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 10 \text{ мм}$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних, небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Безпосередня робота працівників виробничого приміщення пов'язана з обробкою, плануванням, обліком та зберіганням інформації. Оскільки одним з головних факторів підвищення продуктивності праці, а також збереження здоров'я працівників та студентів є забезпечення та поліпшення оптимальних умов праці, аналіз стану охорони праці у навчальній аудиторії є актуальним завданням.

Об'єктом дослідження є приміщення, яке розташоване на другому поверсі будівлі корпусу 11 Запорізького національного університету. План приміщення кафедри МТЕТБ наведено на рис. 4.1. Поблизу немає виробничих приміщень з підвищеним рівнем вібрації та шуму, а також високих дерев, які закривають небосхил, зменшуючи природну освітленість.

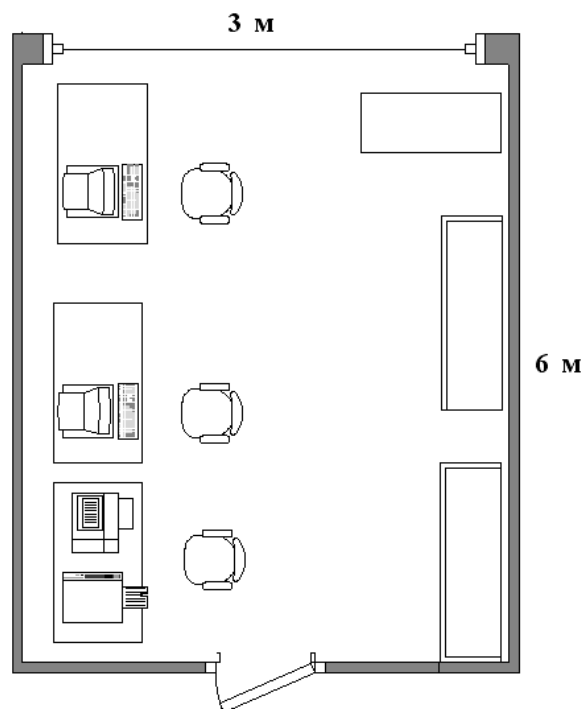


Рисунок 4.1 – План приміщення

Площа кімнати становить 18 м^2 , висота – $2,6 \text{ м}$, об'єм – $46,8 \text{ м}^3$. У кабінеті працює 2 чоловіка, на кожного доводиться 9 м^2 площі приміщення і $23,4 \text{ м}^3$ об'єму приміщення. У відповідності з СНіП 11-90-81 найменше допустиме значення площі і об'єму виробничих приміщень на одного працюючого складає відповідно 6 м^2 і 20 м^3 , отже фактичне значення площі приміщення на одного працюючого більше нормативного.

У приміщенні розташовано 2 персональних комп'ютера (ПК), принтер, сканер, факс, розміщені 3 письмових стола, 2 шафи для зберігання документів, шафа для одягу.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори по природі виникнення поділяються на фізичні, хімічні, психофізіологічні, біологічні [20].

В приміщенні на людину можуть негативно діяти наступні фізичні фактори: підвищена або знижена температура повітря; надмірна запиленість повітря; підвищена або знижена вологість повітря; недостатня освітленість робочого місця; перевищуючі припустимі норми шуму; підвищений рівень іонізуючого випромінювання; підвищений рівень електромагнітних полів; підвищений рівень статичної електрики; небезпека ураження електричним струмом; бляклість екрана дисплея.

До хімічних факторів відноситься – виникнення в результаті іонізації повітря при роботі комп'ютера активних часток.

До психофізіологічних факторів можна віднести наступні: перенапруження зорового аналізатора; нервово-емоційне напруження; розумове напруження. Біологічні фактори в даному приміщенні відсутні.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів для робочого місця приміщення представлені в табл. 4.1.

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою з втратою працездатності та проявом початкових

ознак професійної патології.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника приміщення кафедри МТЕТБ

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас безпеки – озон	0,1	0,1				40
	II клас безпеки						
	III-IV клас безпеки – оксиди азоту	5	2				40
2	Пил, фіброгенної дії, мг/м ³	4	4				50
3	Шум, дБА	50-60	60				75
4	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °C	22-24	24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,2				100
	- відносна вологість повітря, %	40-60	50				100
5	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена					

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Приміщення відноситься до 1 категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги [20]: оптимальна температура повітря – 22 °С (допустима – 21-25 °С), оптимальна відносна вологість – 40-60 % (допустима – не більше 75%), швидкість руху повітря не більш 0,1 м/с.

Для створення і автоматичної підтримки в приміщенні оптимальних значень температури та вологості повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер є вентиляційною установкою, яка за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища [21].

При виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 лк і 300 лк відповідно. При цьому все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога [21].

У зв'язку з тим, що природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

Додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ДРЛ, ЛБХ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями [21].

Тривала дія шуму високої інтенсивності призводить до патології

слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що веде до виробничих помилок.

Високий рівень шуму створюється в приміщенні друкованими пристроями, розмножувальною технікою, обладнанням для кондиціонування повітря та вентиляторами систем охолодження.

Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 60 дБА. Для того, щоб домогтися цього рівня шуму рекомендується застосовувати звукопоглинаюче покриття стін та екранування робочого місця.

Також для зниження шуму під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, – прокладки з м'якої гуми, войлоку, завтовшки 6-8 мм. Кріплення прокладок можливо шляхом приклейки їх до опорних частин. Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей.

Основним джерелом електромагнітного випромінювання та електричного поля є дисплеї (монітори). Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що несприятливо впливають на здоров'я працівника. Електромагнітне поле має електричну і магнітну складову. Вважається, що магнітна складова викликає велику реакцію, ніж електрична.

Персональний комп'ютер (ПК) є джерелами таких випромінювань як:

- м'якого рентгенівського;
- ультрафіолетового 200-400 нм;
- видимого 400-700 нм,
- ближнього інфрачервоного 700-1050 нм;
- радіочастотного 3 кГц-30МГц;
- електростатичних полів.

Ультрафіолетове випромінювання корисне в невеликих кількостях, але у великих дозах приводить до дерматиту шкіри та головного болю.

Інфрачервоне випромінювання приводить до перегріву тканин людини (особливо хрусталика ока), підвищенню температури тіла. Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більш 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В. При підвищеному рівні напруженості полів варто скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви на протязі півтори годин роботи і, звичайно ж, застосовувати захисні екрани. Захисний екран, виготовлений із дрібної сітки або скла, збирає на собі електростатичний заряд. Для зняття заряду екран монітора заземлюють.

Може виникнути небезпека по рівнях напруженості електромагнітного поля (ЕМП). На відстані 5-10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м по електричній складовій.

Для безпечної роботи на ПК необхідно перебувати на відстані не менше 50 см від екрана дисплея. Для зниження впливу всіх видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

На протязі роботи на корпусі комп'ютера накопичується статична електрика. На відстані 5-10 см від екрана напруженість електростатичного поля складає 60-280 кВ/м, тобто в 10 разів перевищує норму 20 кВ/м. Для запобігання утворення та захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття.

Для підвищення працездатності, одним із головних чинників є правильно організоване робоче місце в приміщенні.

Оскільки кожне робоче місце оснащено ПК, то в приміщенні має забезпечуватися підтримання оптимальної робочої пози з відповідними ергономічними характеристиками. Результати дослідження виконання заданих умов представлені у табл. 4.2.

Оскільки користування ПК є невід'ємною функцією основного виду діяльності, вони розміщуються на основному столі кожного працівника. Використання периферійних приладів (сканеру) є періодичним, тому вони доцільно розміщені на приставному столі.

Кут між поздовжніми осями основного та приставного столів складає 120 градусів. Висота робочої поверхні столу для ПК знаходиться у необхідних межах і складає 800 мм. Ширина робочого столу забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля. Робочі столи для ПК в досліджуваному приміщенні не обладнані підставкою для ніг.

Таблиця 4.2 – Виконання умов оптимальної робочої пози за ергономічними характеристиками

Параметри	Нормативна ергономічна характеристика	Виконання нормативу
Ступні ніг	На підлозі або на підставці для ніг	Ступні знаходяться на підлозі
Стегна	В горизонтальній площині	Норматив виконується
Передпліччя	Вертикально	Норматив виконується
Лікті	Під кутом 70-90 до вертикальної площини	Лікті працівників знаходяться під кутом приблизно 70-80
Зап'ястя	Зігнуті під кутом не більше 20 відносно горизонтальної площини	Норматив виконується
Нахил голови	15-20 відносно вертикальної площини	Нахил голови у різних працівників коливається від 15 до 45 градусів

Робочі сидіння персоналу становлять крісла, які мають необхідні елементи: сидіння, спинку, стаціонарні або змінні підлокітники. У конструкцію сидіння не введені додаткові елементи. Робочі сидіння працівників, як користувачів ПК, є підйомно-поворотними, регулюються за висотою, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників. Регулювання кожного параметра є незалежним, ступінчастим, має надійну фіксацію.

Поверхні сидіння, спинки та підлокітників є напівм'якими, з ненаелектризованим, повітронепроникним покриттям та забезпечує можливість чищення від бруду.

Основні нормативні параметри для сидінь та їх дотримання у приміщенні представлені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Дотримання нормативів параметрів сидінь

Параметр	Необхідна характеристика	Виконання необхідних вимог
Регулювання елементів сидіння для лінійних розмірів	15-20 мм	Виконується: 20 мм
Регулювання елементів сидіння для кутових розмірів	2-5 мм	Виконується: 5 мм
Зусилля під час регулювання	20 Н	Виконується: 20 Н
Ширина та глибина сидіння	не менше 400 мм	Виконується
Висота поверхні сидіння	має регулюватися в межах 400-500 мм	Виконується: регулюється в межах 500 мм
Кут нахилу поверхні сидіння	від 15 вперед до 5 назад	Виконується

Поверхня сидіння	пласка, передній край - закруглений	Виконується
Висота спинки сидіння	300±20мм	Не виконується: висота більше 300 мм
Ширина спинки сидіння	не менше 380 мм	Виконується
Радіус кривизни в горизонтальній площині	400 мм	Виконується
Відстань від спинки до попереднього краю сидіння	260 – 400 мм	Виконується: становить 350 мм

Монітор та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не більше 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів [20]. В приміщенні монітори та клавіатура ПК знаходяться на відстані приблизно 500-600 мм від очей. Клавіатура розміщується на столах не відповідно нормі – 100-300 мм від краю, а розташовується майже на краю стола на всіх робочих місцях. Кут нахилу клавіатури становить приблизно 5 градусів, що відповідає нормі.

Повна видимість монітору не порушується іншими пристроями введення-виведення інформації, адже вони розташовані на окремому приставному столі.

4.3 Заходи з електробезпеки

Приміщення згідно ПУЕ можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе, безпилоче, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів) [21].

Основними споживачами електроенергії в приміщенні є система штучного освітлення, 2 персональних комп'ютера, принтер, сканер, факс.

Напруга, яка використовується для роботи електричних приладів складає 220 В.

Основними причинами поразки працівника приміщення електричним струмом на робочому місці можуть бути: поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах комп'ютера у результаті пошкодження ізоляції; несправність розетки; пошкодження ізоляції дротів комп'ютера; порушення правил експлуатації техніки; заборонене використання електричних приладів, таких як електричні плити, чайники, обігрівачі.

Небезпека електричного струму велика, внаслідок чого була розроблена ефективна система по її запобіганню. Основними мірами захисту від поразки електричним струмом є [21]:

- правильне улаштування і експлуатація електричного устаткування;
- електрична ізоляція; усі струмоведучі частини електроустановок повинні мати гарну ізоляцію з урахуванням напруги в ланцюзі;
- захисні пристрої, що забезпечують неприступність для людини елементів, що знаходяться під напругою;
- заземлення елементів устаткування; занулення;
- наявність попереджувальних написів.

При різних несправностях частини електроустаткування можуть виявитися під напругою. Так як людина включається в ланцюг заземлення паралельно, то відбувається розподіл струму відповідно до законів Кірхгофа: струм, що протікає по двом паралельним провідникам прямо пропорційний опорі провідника. Так як опір людини на кілька порядків перевищує опір провідника, то струм, що протікає через людину, буде на кілька порядків менше.

Несправності електричних мереж, устаткування і запобіжних пристроїв можуть призвести до пожеж і вибухів.

Основними мірами профілактики в таких випадках є: щільне приєднання проводів у місцях контакту скручування і з'єднань проводів; застосування захисного заземлення і системи захисного відключення. Захисне відключення виконується на додаток чи замість заземлення. Відключення здійснюється автоматично.

У випадку загоряння проводів необхідно їх знеструмити і погасити за допомогою вуглекислого газу чи покривалами з азбесту.

Для виключення випадків загоряння електропроводки, необхідно застосовувати провідник такого діаметру, при якому не відбувається розігріву. А також не перевантажувати електромережу.

При ураженні людини електричним струмом необхідно застосовувати такі перші міри [21]:

- відключити напругу;
- відтягнути людину від струмоведучих частин устаткування;
- винести на свіже повітря, розстебнути комір;
- викликати лікаря.

4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Будівлю, в якій знаходиться приміщення, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії В, оскільки є горючі (книги, документи, меблі) і важкоспалювані речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху [20].

За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важко горючими листовими, а також плитковими матеріалами. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі можна визначити як другу (II).

Причинами виникнення пожежі в приміщенні можуть бути:

- несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть

призвести до короткого замикання або пробую ізоляції;

- використання пошкоджених (несправних) електроприладів;
- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;
- виникнення пожежі внаслідок попадання блискавки в будинок;
- загоряння будівлі внаслідок зовнішніх впливів;
- неакуратне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж в приміщенні використовується вуглекислотний вогнегасник ВВ-5. Для швидкого виявлення та повідомлення про місце виникнення пожежі в будівлі є пожежна сигналізація ЛИПНУВ-1, димові датчики. Для зв'язку використовують телефон чи інші засоби першої зв'язку.

Необхідними заходами для запобігання пожежі є своєчасний ремонт електроприладів, якісне виправлення поломок, не використання несправних електроприладів, протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки та використання первинних засобів пожежогасіння.

У випадку виникнення пожежі необхідно:

- відключити електроживлення;
- викликати по телефону пожежну команду;
- евакуювати людей із приміщення відповідно до плану евакуації;
- приступити до ліквідації пожежі.

При загоранні одягу на людині необхідно збити полум'я. При опіках обов'язково необхідно надати медичну допомогу. До надання медичної допомоги треба обережно звільнити потерпілого від одягу і накрити місця опіків стерильною пов'язкою. Не можна доторкатися руками до опеченого місця, скривати пухирі, обривати приставші до шкіри шматки одягу, обмивати або змазувати поранену поверхню будь-якими розчинами або мазями. Це може робити тільки лікар у відповідних умовах.

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації людей з приміщень. Евакуація проводиться по заздалегідь спланованих шляхах. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто методи визначення коефіцієнта плеча моменту; фактори, що впливають на крутний момент і на коефіцієнт плеча моменту; диференційне рівняння прокатки; визначення нормального контактного напруження за формулою О.І. Целікова; визначення нормального контактного напруження за формулою В.О. Ніколаєва.

2 Виконано розрахунок коефіцієнта плеча моменту для трьох варіантів, на основі побудованих епюр розподілення нормальних контактних напружень по довжині дуги контакту. Отримано значення коефіцієнта плеча моменту з урахуванням пружного сплюснення валків і штаби розраховані з використанням формул О.І Целікова і В.А. Ніколаєва.

3. Отримано нові дані щодо величини коефіцієнта положення плеча моменту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби. Точність розрахункових формул сильно впливає на правильність визначення потужності головного приводу кліті, розміри основних деталей головної лінії прокатного стану, а також на раціональні режими деформації.

4. У результаті теоретичних досліджень було виявлено, що розрахунок коефіцієнту плеча моменту за формулою О.І. Целікова є більш точним для холодної прокатки штаб ніж розрахунок за формулою В.О. Ніколаєва, що підтверджується порівнянням розрахункових і опитних даних, отриманих при дослідях інших авторів.

5. Виконано розрахунок енергосилових параметрів прокатки і основних елементів головної лінії прокатного стану. Встановлено, що чим більше обтиснення, тим більше енергосилові параметри прокатки. З іншого боку, чим більше початкова товщина штаби, тим енергосилові параметри менше при однаковому обтисненні.

6. Виконано розрахунки основних елементів головної лінії прокатного стану: станини чотиривалкової прокатної кліті і компонування елементів у її

вікні, конструкції підшипникових вузлів і подушок опорного валка. Розроблено розрахункову схему опорного валка, станина прокатної кліті і її основні елементи. Виконано компонування лінії кліті холодної і гарячої прокатки штаб.

7. Запропоновано заходи щодо підвищення площинності штаб, які можуть бути реалізовані при реконструкції ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою, підвищення якості продукції, зменшення енерговитрат і втрат металу. Зокрема запропоновано технічне рішення компанії Primetals Technologies (Німеччина) на основі візуального контролю за допомогою комбінованого пристрою - датчика ShapeMon. Ці системи візуального контролю розміщуються після кожної кліті для забезпечення автоматичного напрямку штаби у валки наступної кліті. Система дозволяє значно зменшити клиновидність штаби, що прокатується, покращити площинність штаби і, як наслідок, підвищити якість продукції, зменшити втрати металу і розширити сортамент розкату.

8. У розділі "Охорона праці та техногенна безпека" розглянуто основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, заходи з поліпшення умов праці. Розроблено заходи з електробезпеки, пожежної та техногенної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.
2. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley and Sons, Inc. 2000. Canada.
3. Проценко В. М., Белоконь Ю. О. Технологія виготовлення гнутих профілів : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістр спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском" Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 104 с.
4. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.
5. Проценко В. М., Бондаренко Ю. В., Явтушенко А. В. Технологія нагріву та нагрівальне обладнання в обробці металів тиском : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 126 с.
6. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.
7. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.
8. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

9. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для здобувачів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
10. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.
11. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation canter when rolling a metal strip. *Journal of Engineering Sciences*, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.
12. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.
13. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 ”Обробка металів тиском”. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.
14. Проценко В. М. Теорія та технологія точної прокатки штаб : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 40 с.
15. Проценко В. М. Профілювання валків листових станів : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 42 с.

16. Серода Б. П., Проценко В. М. Виготовлення спеціальних видів прокату : навчально-методичний посібник для здобувачів ЗДІА спеціальності 7.090404 "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 88 с.
17. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі «AutoCAD Mechanical». *Металургія : Збірник наукових праць*. Запоріжжя , 2018. Вип. 2 (40). С. 85 – 90.
18. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V, Bondarenko Y, Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *Conference Proceedings – METAL 2020. 29th International Conference on Metallurgy and Materials*. May 20 - 22, 2020, Brno, Czech Republic, EU. P. 440 – 445. <https://www.confer.cz/metal/2020/3500-mathematical-modeling-of-physical-properties-of-anisotropic-materials>. (Дата звернення: 15.09.2023).
19. Таратута К.В., Проценко В.М., Востоцький С.М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2023). 25-26 травня 2023 року. Черкаси. С 40 – 42. https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book_ІМТСК_2023.pdf. (Дата звернення: 15.09.2023).
20. Румянцев В. Р., Кутузова І. О. Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 132 с.
21. Геврик Є.О. Охорона праці: навч. Посібник. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.
22. *Steel Times International*. May 2018, № 40, pp. 17 – 21.
23. ДСТУ 8302 : 2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
24. ДСТУ 3008 : 2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [На заміну ДСТУ 3008-95. Чинний від 2017-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1995. 26 с. (Інформація та документація).