

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

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

на тему Забезпечення точності прокатки валкових вузлів багатовалкових станів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1361-омт-3

Чебанов О.Л.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2022 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Бєлоконь

“ ” 12 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Чебанова Олександра Леонідовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Забезпечення точності прокатки валкових вузлів багатовалкових станів

керівник роботи (проекту) Бєлоконь Юрій Олександрович д.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 06 2022 року № 598-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 14.12.2022

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Двадцятивалковий стан холодної прокатки, Формула Стоуна(1), Формула Стоуна(2), Формула Тонга, Формула Корольова, Формула Троста, Формула Форда-Александера, Формула Робертса.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналіз наукової інформації і стан проблеми. Обґрунтування задачі і методики дослідження, Обробка і обговорення результатів технологічних досліджень, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилань.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Бєлоконь Ю.О. д.т.н.</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Бєлоконь Ю.О. д.т.н.</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Бєлоконь Ю.О. д.т.н.</i>	
<i>Розділ 4</i>	<i>Бєлоконь Ю.О. д.т.н.</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 03.09.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>01.10.- 02.10.2022</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>02-04.10.2022</i>	
3	<i>Розділ 1</i>	<i>15.10- 27.10.2022</i>	
4	<i>Розділ 2</i>	<i>02.11- 14.11.2022</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>15-28.11.2022</i>	
5	<i>Розділ 4</i>	<i>28-08.12.2022</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>08.12.2022</i>	

Студент _____ О.Л. Чебанов
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи магістра: 93 с., 20 рис., 9 табл., 57 літературних джерел.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ВАЛКОВИЙ ВУЗЕЛ, МІНІМАЛЬНА ТОВЩИНА, БАГАТОВАЛКОВИЙ СТАН, РОБОЧИЙ ВАЛОК, НОМОГРАМА, ДІАМЕТР, ШТАБА.

Об'єкт дослідження – валковий вузел багатовалкових станів холодної прокатки.

Метою роботи є аналіз методів визначення мінімальної товщини листів і розробки номограм оптимізації діаметрів валків на багатовалкових станах холодної прокатки.

Робота присвячена вивченню впливу точності плющення валкових вузлів багатовалкових станів.

Основну роль в забезпеченні точності плющення на багатовалкових станах грає валковий вузол і його характеристики: жорсткість, точність виготовлення, геометричні параметри валків. Вказані характеристики були розглянуті і проаналізовані в найбільш характерних літературних джерелах.

При дослідженні багатовалкових станів велика увага приділялася вибору робочого валка, що визначає максимальну величину обтискань і мінімальну товщину прокатних стрічок, а також діаметрів приводних валків і опорних роликів, що забезпечують передачу необхідного моменту, що крутить, і максимальне зусилля прокатки відповідно.

Для вибору діаметру робочого валка багатовалкового стану, що забезпечує раціональний режим плющення в роботі використовувалися методики Стоуна, Тонга, Робертса, Корольова і ін. для визначення мінімальної товщини штаби. Для вивчення впливу відповідних параметрів валків і опорних

роликів на жорсткість валкового вузла в роботі застосовувалося математичне планування експерименту по методу Уїлсона – Боксу.

Результатом роботи стала побудова номограм оптимізації діаметрів валків, рекомендації по отриманню мінімальної товщини штаби.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Методи визначення мінімальної товщини штаби.....	10
1.2 Формула Стоуна для визначення товщини штаби.....	13
1.3 Формула Корольова для визначення товщини штаби.....	20
1.4 Метод вибору діаметрів проміжних валків 20-валкового стану по номограмі.....	25
2 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
2.1 Теоретичне обґрунтування дослідницької проблеми.....	30
2.2 Методика виконання роботи.....	33
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
3.1 Формула Стоуна (1).....	39
3.2 Формула Стоуна (2).....	41
3.3 Формула Тонга.....	42
3.4 Формула Корольова.....	44
3.5 Формула Троста.....	45
3.6 Формула Форда-Александера.....	48
3.7 Формула Робертса.....	50
3.8 Математичне планування.....	57
3.9 Визначення основних параметрів для побудови номограми для підбору комплекту валків 20-ти валкового стану.....	67
3.10 Аналіз і узагальнення розглянутого матеріалу.....	71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	73
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	73
4.2 Загальні вимоги безпеки для робітників прокатного відділення...	74
4.3 Вимоги безпеки для вальцовщиків стану 1700.....	78

	7
4.4 Вимоги безпеки під час роботи.....	79
4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	82
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	86
ДОДАТОК А. Публікації за темою кваліфікаційної роботи	91

ВСТУП

Надійність та тривалість використання валків та опорних роликів багатовалкових станів є вирішальними факторами, що визначають якість продукції, продуктивність та економічну ефективність роботи станів.

У зв'язку з особливими вимогами, що висуваються до валків багато валкових станів, у порівнянні з іншими станами холодної прокатки видається доцільним у комплексі розглянути питання, пов'язані з технологією їх виготовлення та покращенням якості.

Основним призначенням робочих валків є пластична деформація металу, що прокатується, та сприйняття зусилля прокатки, перерозподіл зусилля у піраміді валків і передачі на станіну через опорні ролики. Валок складається з бочки, шийок та розташованих по обидва боки валка кінцевих частин (для приводних та перших проміжних валків). На деяких 20-валкових станах використовуються робочі валки без шийок. Привідними, як правило, є крайні проміжні валки другого порядку (чотири приводних валки).

Основними параметрами є діаметр та довжина бочки, що визначають розміри прокатного валка та характеристику стану. Діаметр валка обирають за допомогою попередніх розрахунків з урахуванням товщини штаб та стрічок, що прокатуються, умов експлуатації, механічних властивостей металу, що прокатується, максимальних зусиль, обтисків та конструкції стану.

Найвідомішою формулою для мінімального розміру є формула Стоуна. Вперше вона була опублікована у 1953 р.

Одразу за публікацією формули Стоуна поступово стало очевидним, що можливе отримання меншої товщини, ніж передбачала ця формула. Наприклад, на стані з діаметром робочих валків 533 мм можна прокатати луджену штабу з мало вуглецевої сталі до товщини 0,05 мм, тоді як формула дає мінімальне значення товщини прокатоної штаби 0,15 мм. У зв'язку з цим був виведений ряд інших формул для визначення мінімального розміру.

Тонг і Закс запропонували вираз для “гранично мінімального значення товщини штаби..., нижче якого холодна прокатка вже неможлива навіть при дуже малих обтисках“. Це мінімальне значення товщини при обтисканні

Тепер відмінність між мінімальною товщиною від обтискання і мінімально досяжною товщиною залежить головним чином від значення $\sigma_c - \sigma$. Коли мінімальну товщину збираються одержати за одне велике обтискання (мінімально досяжна товщина), тобто, значення $\sigma_c - \sigma$ відповідає отоженній смузі. Проте коли мінімальну товщину збираються одержати при декількох порівняно невеликих обтисканнях, значення $\sigma_c - \sigma$ для останнього проходу відповідає наклепаній смузі і може бути принаймні в два рази більше, ніж для отоженної штаби. Так на практиці, коли для отримання мінімальної товщини використовують декілька проходів і штабу після кожного з них не відпалюють, товщина після плющення (відповідна t_{mrt}) може опинитися в два рази більше товщини (відповідної t_{mat}), одержуваної при одному великому обтисканні.

Важливо мати на увазі, що при використанні цих формул коефіцієнт тертя μ залежатиме від різних параметрів процесу і величину $\sigma_c - \sigma$ слід підраховувати з урахуванням впливу швидкості деформації, а для випадку декількох проходів - з урахуванням загартовування.

Дана робота присвячена аналізу методів знаходження мінімальної товщини штаби на багато валкових станах холодної прокатки та на основі цього аналізу зроблено порівняння існуючих методів та формул. Отримані результати відображено графічно.

Усього в роботі докладно прореферовано та проаналізовано 57 літературних джерела. Використано ж близько 104.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Методи визначення мінімальної товщини штаби

Діаметр робочого валка знаходиться у прямій залежності від мінімальної товщини штаби, що прокатується (h_{min}).

Проблема визначення h_{min} є однією з найскладніших у теорії прокатування, так як залежить від багатьох факторів : пружних постійних матеріалу валків та штаби, технологічних параметрів прокатування, механічних якостей штаби, умов контактного тертя між валками та штабою та інше.

Відомо близько десяти формул для визначення h_{min} з використання різних теорій та гіпотез.

Нижче наведено детальний аналіз існуючих формул для визначення h_{min} , отриманих рядом зарубіжних дослідників.

Відомо, що Павельські та Федінг узагальнили та зіставили основні висновки відомих теоретичних рішень для визначення h_{min} , [11] розділивши останні на дві групи в залежності від покладених в їх основу припущень.

До першої групи (формули 1 – 4 та 6 див. табл.1) належать розв'язки, оснований на припущенні про присутність в джерелі деформації лише пластичної деформації штаби та дії тертя ковзання по всій контактній поверхні. Пружне стиснення валків визначають по формулі Хічкока [19].

До другої групи відносяться розв'язки, в яких врахована пружна деформація штаби. В цьому випадку під мінімальною товщиною розуміють таку початкову товщину штаби, при якій пластична деформація стає рівною нулю.

Таблиця 1.1 – Формули для визначення мінімальної товщини штаби

Номер	Автор	Формула для h_{min}
1	Стоун	$0.77 fckD_1$
2	Стоун	$3.92fkD_1(1 - \mu_B) / E_B$
3	Тонг	$3.62fkD_1 / E_B$
4	Трост	$\frac{ckD_1}{8} \left[1 + \frac{1-4f}{\left(\ln \frac{1}{2f} - 1\right)^2} \right]$
5	Форд, Александр	$\frac{7.11f^2D_1(1 - \mu_{II})^2}{E_{II}} + \frac{4.02fD_1(1 - \mu_B)^2}{E_B}$
6	Робертс	$(0.585 \div 1.25)fkD_1 / E_B$

Примітка. f – коефіцієнт контактної тертя; D_1 – діаметр робочого валка; $\mu_B, \mu_{II}, E_B, E_{II}$ – відповідно коефіцієнти Пуассона та модулі пружності валків та штаби; $c = 16(1 - \mu_B^2) / \pi E_B$; $k = 1.15\sigma_T - \sigma_{CP}$ (σ_T – межа текучості матеріалу штаби; σ_{CP} – середня питома напружка, $\sigma_{CP} = 0.5(\sigma_3 + \sigma_{II})$, σ_3, σ_{II} – відповідно задня та передня питома напружка).

Наведені результати розрахунку h_{min} на математичній моделі процесу прокатки тонких штаб при досить точному врахуванні пружних деформацій валків та штаби.

Під мінімальною в цьому випадку розуміють товщину штаби, для якої крива пластичності перетворюється на вертикальну пряму. Починаючи з цієї товщини пластична деформація металу при даних умовах неможлива.

З порівняльного аналізу видно, що по відомим формулам для визначення h_{min} отримуються значення, які можуть відрізнятися на порядок та вище.

Враховуючи те, що на багато валкових станах переважно прокатуються тонкі штаби та стрічки з високоміцних сталей та сплавів, при визначенні мінімальної товщини стрічки доцільно враховувати її пружні деформації.

Проблема визначення h_{min} для багато валкових станів є досить складною задачею, так як зіткнення валків, що спостерігаються на краях бочки вимагають детального розрахунку пружних деформацій валків як в подовжньому, так і в поперечному напрямках прокатування [57]. Для наближеного розрахунку пружних деформацій можна використовувати формули, наведені в табл.1, наприклад, формулу Форда-Александера, що враховує пружне відновлення штаби.

Довжину бочки робочого валка обирають в залежності від максимальної ширини стрічки, що прокатується з виразу $L = V_{max} + a$, де a – величина, що обирається в залежності від ширини стрічки ($a = 50 \div 200$ мм).

При виборі довжини бочки робочих та проміжних валків багато валкових станів необхідно враховувати довжину бочки привідних валків. З точки зору можливості передачі крутячих моментів від двигунів кліті.

Діаметри робочих валків існуючих 20-валкових станів знаходяться в межах 3 – 160 мм; проміжних валків – в межах 5 – 250 мм, опорних роликів – в межах 10 – 400 мм.

Довжина бочки валків в залежності від призначення стану знаходиться в межах від 60 до 1700, а в окремих клітках – до 2000 мм та вище.

До робочих валків багатовалкових станів висувають вимоги, аналогічні вимогам, що висуваються до валків станів холодної прокатки : висока та рівномірна твердість після загартування, яка повинна забезпечувати високу якість поверхні штаби, підвищувати зносостійкість; певна глибина активного

шару, яка має бути не менше 3% радіусу валка; високий опір термічної втомленості при об'ємному та локальному розігріванні; висока зносостійкість загартованого поверхневого шару бочки; стійкість проти утворення поверхневих дефектів : тріщин, відшарувань, відколів, викрошків, лущень та ін [17].

До проміжних валків багато валкових станів висуваються ті ж вимоги, що і до робочих. Це впливає із специфіки валкових вузлів станів такого типу, коли робочі та проміжні валки, з точки зору експлуатації, технології їх виготовлення та розмірів, відрізняються не сильно.

Твердість поверхні бочки валків є найважливішим фактором, що визначає тривалість роботи валків холодної прокатки. Твердість за Шором бочки робочих валків 20-валкових станів, як правило, повинна знаходитись в межах 85 – 95 од. (HRC 60 - 65), твердість за Шором бочок проміжних валків 75 – 90 од. (HRC 58 - 63).

Глибина активного загартованого шару бочки валків в залежності від його діаметру знаходиться в межах 2 – 10 мм.

Таким чином, раціональні технічні умови, що забезпечують виконання основних вимог, що висуваються до робочих та проміжних валків, визначаються правильним вибором твердості, шорохуватості поверхні та глибиною активного загартованого шару.

1.2 Формула Стоуна для визначення товщини штаби

Було давно відмічено, що незалежно від величини зусилля прокатки або числа зроблених проходів лімітуюча, мінімальна, товщина робочого тіла при операціях прокатування досягається тоді, коли, здавалося б, вже неможливе подальше обтискання. Питання про існування насправді цього так званого мінімального розміру часто обговорювалося впродовж останніх двох десятиліть, причому деякі дослідники вважали, що такі ефекти, як тиск робочих валків один на одного за межами країв робочого тіла, дійсно,

обмежують досяжне обтискання. Інші вважали, що мінімальний розмір є фізичною реальністю і виводили формули, що пов'язують товщину прокатої штаби з іншими параметрами Стоун [56], прийнявши ряд спрощуючих припущень, вивів рівняння для середнього тиску p по дузі захоплення:

$$\bar{p} = (\sigma_c - \sigma_1) [\exp(\mu L/t) - 1]/(\mu L/t). \quad (1)$$

Цей вираз графічно показано на рис.1.1. Якщо для спрощення припустити

$$\lambda = \mu L/t, \quad (2)$$

тоді нахил кривої для p

$$\begin{aligned} d\bar{p}/d\lambda &= (\sigma_c - \sigma_1) \times \\ &\times [\lambda e^\lambda - (e^\lambda - 1)]/\lambda^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння Хічкока для довжини дуги захоплення L можна записати у вигляді :

$$L = \sqrt{l^2 + a^2 \bar{p}^2} + a \bar{p}, \quad (4)$$

де l - довжина дуги захоплення, що виходить з умови жорсткого валка;

a - параметр, пов'язаний з деформацією валка і рівний

$$a = 8R(1 - \nu^2)/\pi E, \quad (5)$$

де R - радіус робочого валка; ν і E - коефіцієнт Пуассона і модуль Юнга матеріалу валка.

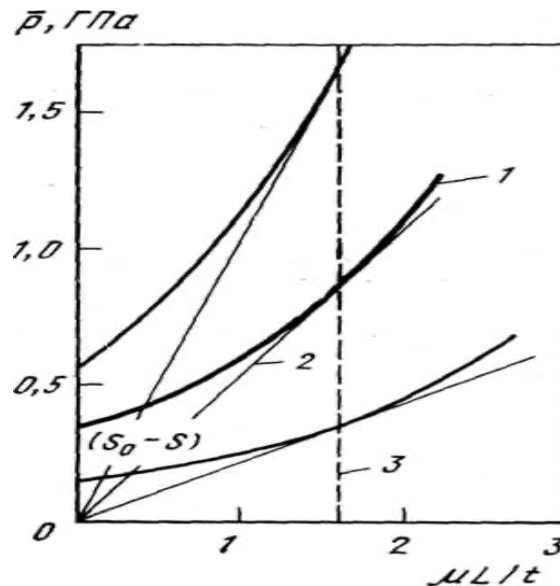


Рисунок 1.1 – Залежність середнього тиску p по дузі захоплення

За умови обмеженого обтискання:

$$l = 0, \quad (6)$$

$$L = 2a\bar{p}, \quad (7)$$

таким чином:

$$\frac{\mu L}{t} = 2(\mu a/t)\bar{p}. \quad (8)$$

Останнє рівняння може бути представлено прямими лініями, які нанесені на рис.1.1.

За умови обмеженого обтискання друга група кривих є дотичною до першої групи. Отже за цих умов:

$$\begin{aligned} d\bar{p}/d\lambda &= (\sigma_c - \sigma_1) [\lambda e^\lambda - (e^\lambda - 1)]/\lambda^2 = \\ &= \bar{p}/\lambda = (\sigma_c - \sigma_1) (e^\lambda - 1)/\lambda^2, \end{aligned} \quad (9)$$

Звідси

$$\lambda \exp(\lambda) - 2(\exp \lambda - 1) = 0. \quad (10)$$

Розв'язком цього рівняння є

$$\lambda = 1,594, \quad (11)$$

Отже

$$\frac{\bar{p}}{\lambda} = 1,54 (\sigma_c - \sigma_1) = \frac{t}{2 \mu a} = \frac{t \pi E}{2 \mu 8 R (1 - \nu^2)}. \quad (12)$$

Якщо t_m є обмежуючою товщиною, то

$$t_m = 3,58 D \mu (\sigma_c - \sigma_1) / E, \quad (13)$$

де D - діаметр валка; σ_1 - можна розглядати як середнє значення натягнення штаби.

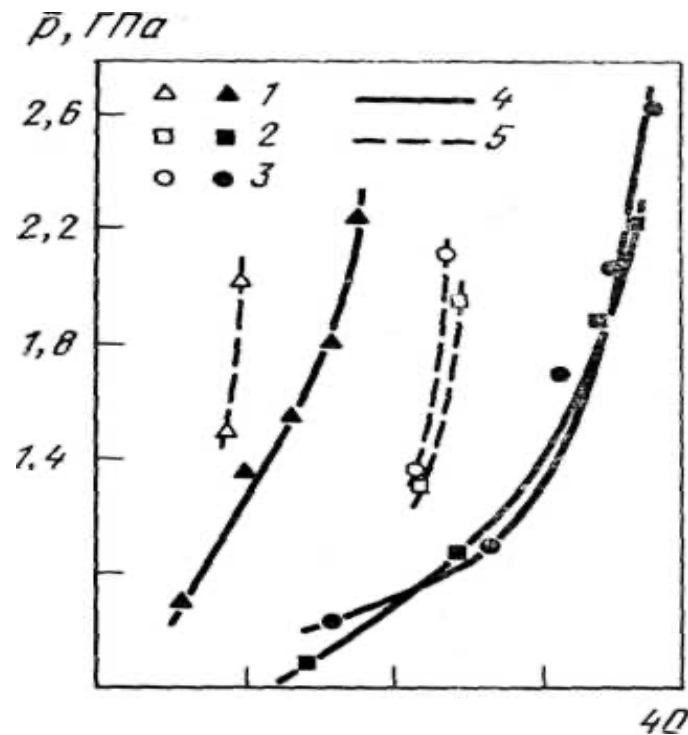
Значення коефіцієнта у вищенаведеній формулі досліджували при прокатуванні отожжених листів з низковуглецевої сталі без розтягування за один і декілька проходів, використовуючи двохвалковий прокатний стан з діаметром валків 250 мм і чотиривалковий стан з діаметром робочих валків 150 мм, із застосуванням як мастило веретенного масла № 60, бавовняного масла і пальмового масла. Виходячи з вимірювань зусиль прокатування, коефіцієнти тертя підраховували по формулах Стоуна для питомого зусилля прокатування і Хічкока для довжини дуги захоплення.

На рис. 1.2 показана зміна середнього значення питомого тиску валка залежно від обтискання для трьох типів мастила. Зв'язок між обчисленим коефіцієнтом тертя і змінною величиною DS_0/t_{mrt} для багатопроходного прокатування показано на рис.3 (S_0 відповідає $(\sigma_0 - \sigma_1)$ у рівнянні (27)). На цьому малюнку штрихові криві графічно зображують формулу Стоуна для мінімального розміру, яка виражена у величинах товщини штаби t_{mrt} , що

мінімально обтискується:

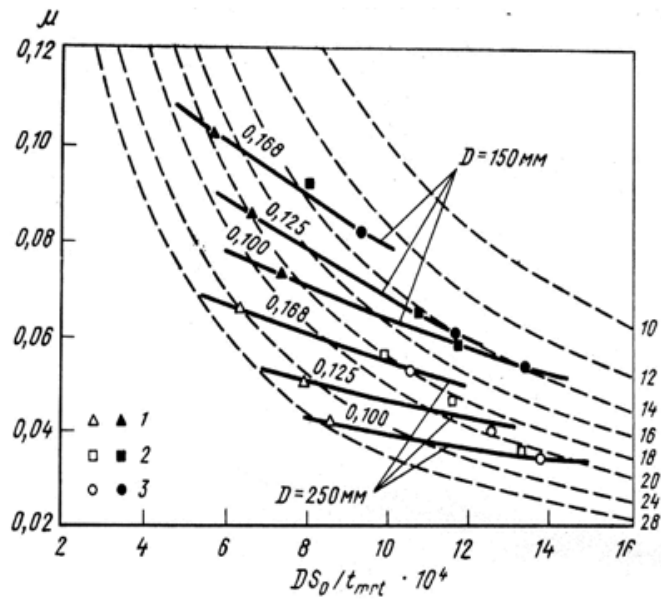
$$t_{mrt} = \alpha D \mu S_0, \quad (14)$$

відповідних значенням коефіцієнта α , показаним на правій стороні малюнка. Виходячи з експериментальних даних, представлених на рис. 1.2, видно, що відповідні значення знаходяться в діапазоні від $18,9 \cdot 10^{-6}$ до $27,0 \cdot 10^{-6} \text{ МН}^{-1} \text{ м}^2$. Так, якщо рахувати E рівним $2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, то, як завжди пишуть, числова константа рівняння Стоуна знаходиться в інтервалі від 4,0 до 5,7.



- 1 – веретенне масло №60, 2 – бавовняне масло
 3 – пальмове масло, 4 – декілька проходів
 5 – один прохід

Рисунок 1.2 - Зв'язок між середніми значеннями питомого тиску валка та обтиском ($D = 250 \text{ мм}$, $t_1 = 0,168 \text{ мм}$)

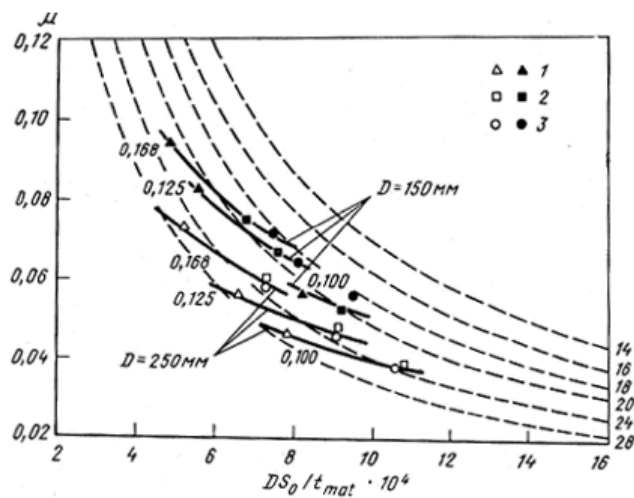


1 – веретенне масло №60, 2 – бавовняне масло

3 – пальмове масло

Рисунок 1.3 – Зв'язок між μ та DS_0/t_{mr} при ряді проходу ($t_1 = 0,168$ мм)

На рис. 1.4 представлені подібні дані для коефіцієнта тертя в функції величини DS_0/t_{mat} для обтискання за один прохід, де t_{mat} - мінімально досяжна товщина. Тут значення а лежать в діапазоні від $18,9 \cdot 10^6$ до $27,0 \cdot 10^6$ МН м²; вони відповідають числовому коефіцієнту рівняння Стоуна (у умовних одиницях), що знаходиться в межах від 4,0 до 5,7.



1 – веретенне масло №60, 2 – бавовняне масло

3 – пальмове масло

Рисунок 1.4 – Зв'язок між μ та DS_0/t_{mr} для одного проходу ($t_1 = 0,168$ мм)

На рис. 1.5 показаний зв'язок між обчисленими значеннями коефіцієнтів тертя a як для багатопрхідної, так і для однопрхідного прокатування штаби завтовшки 0,168 мм. Вважають, що через залежність коефіцієнта a від коефіцієнта тертя μ перший повинен виражатися як

$$\alpha = K_1 + K_2\mu. \quad (15)$$

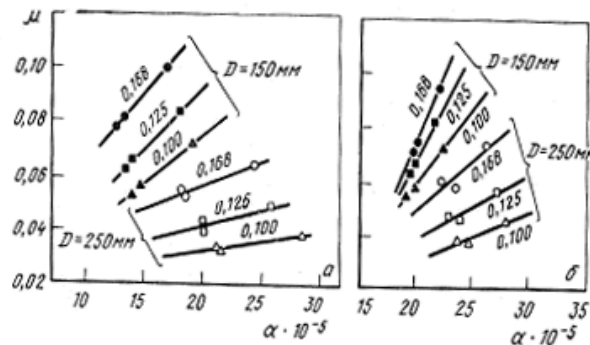
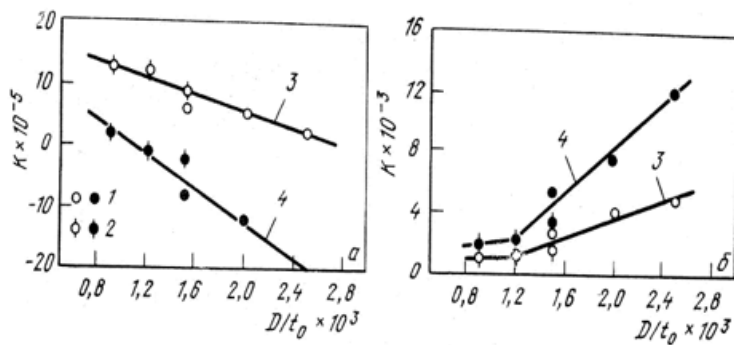


Рисунок 1.5 – Зв'язок між μ і α при ряді проходів (*a*) та при одному проході (*б*)

На рис. 1.6 показана зміна K_1 та K_2 залежно від відношення діаметру валка до початкової товщини штаби як для обтискання за один прохід, так і для обтискання в декілька проходів.



1 – діаметр валків 250 мм, 2- діаметр валків 150 мм, 3 – один прохід, 4 – ряд проходів

Рисунок 1.6 – Вплив відношення D/t_1 на величину K_1 у функції α (*a*) і на величину K_2 у функції α (*б*)

1.3 Формула Корольова для визначення товщини штаби

Практикою встановлено, що при холодному прокатуванні тонкої сталевій штаби може наступити такий момент, коли подальше її обтискання стає неможливим з огляду на те, що пружне радіальне стиснення (сплюснення) валків виявляється рівним товщині штаби.

Визначимо мінімальну (граничну) товщину штаби, при якій наступає межа можливості її пластичної деформації (обтискання у валках), тобто $\varepsilon = 0$.

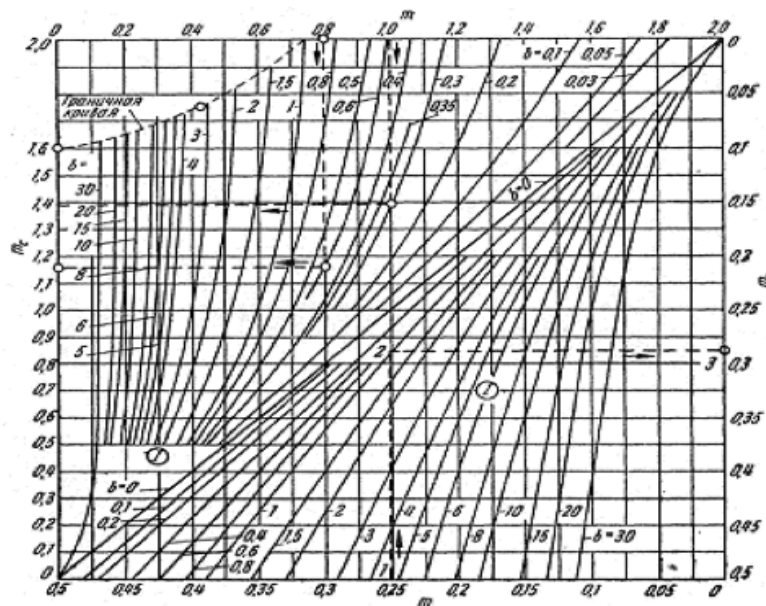


Рисунок 1.7 – Номограма для визначення параметру m_c

Піднесемо до квадрату ліву і праву частини рівняння

$$m_c^2 = m^2 [1 + b (e^{m_c} - 1)] = m^2 + bm^2 (e^{m_c} - 1).$$

Для даного випадку $\varepsilon = 0$, $\Delta h = 0$, $l = \sqrt{R\Delta h} = 0$ і $m = \mu \frac{l}{h_{cp}} = 0$. Розкриємо значення члена bm^2 при $l^2 = R\Delta h = R\varepsilon h_0$ и $h_0 = h_{cp}$:

$$bm^2 = C(2k_{cp} - \sigma_{cp}) \frac{2 - \varepsilon}{\mu \varepsilon} \left(\mu \frac{l}{h_{cp}} \right)^2 = C(2k_{cp} - \sigma_{cp}) R \mu \frac{2}{h_0} = b_1.$$

Тоді останнє рівняння набуде вигляду

$$m_c^2 = b_1 (e^{m_c} - 1)$$

або

$$e^{m_c} = 1 + \frac{1}{b_1} \cdot m_c. \quad (16)$$

Це рівняння має єдине розв'язок при $b_1 = 0,65$. Таким чином:

$$CR\mu (2k_{cp} - \sigma_{cp}) \frac{2}{h_0} = 0,65,$$

звідки

$$h_0 = h_{перед} = \frac{2}{0,65} CR\mu (2k_{cp} - \sigma_{cp})$$

або

$$h_0 = h_{перед} = 1,54 C (2k_{cp} - \sigma_{cp}) D\mu, \quad (17)$$

де $D = 2R$ - діаметр валків

$$2k_{cp} = 1,15 \frac{\sigma_{s_0} + \sigma_{s_1}}{2};$$

$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_0 - \sigma_1}{2}$ - середнє питоме натягнення штаби

Якщо валки виготовлені зі сталі (вуглецевої або легованої), то $C = 1,08 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^2/\text{н}$, тому

$$h_{перед} = 1,66 \cdot 10^{-5} (2k_{cp} - \sigma_{cp}) D\mu, \quad (18)$$

де k_{cp} і σ_{cp} виражені в $\text{н}/\text{мм}^2$, а D і h в мм

Формули (17), (18) характеризують мінімальну (граничну) товщину штаби при холодному прокатуванні.

Для забезпечення можливості прокатувати (пластично деформувати) штабу мінімальної товщини необхідно:

а) збільшувати натягнення штаби (переднє і заднє) при

плющенні;

б) зменшувати діаметр робочих валків;

в) зменшувати коефіцієнт контактного тертя, тобто покращити якість мастила поверхні валків і штаби.

Формула (49) і висновки з її аналізу дозволяють дати теоретичне обґрунтування створення і застосування так званих багатовалкових станів (12- і 20-валкових). Конструкція цих станів дозволяє застосовувати робочі валки мінімального діаметру (5-25 мм), які можна виготовити з твердого сплаву, наприклад карбіду вольфраму, для якого модуль пружності в три рази вище, а константа пружності C в три рази нижче, ніж для сталевих валків. В цьому випадку формула (50) має вигляд

$$h = h_{\text{пред}} = 5 \cdot 10^{-6} (2k_{\text{ср}} - \sigma_{\text{ср}}) D \mu. \quad (19)$$

Розглянемо тепер питання про вплив пружного сплющення валків на момент плющення, необхідне для пластичної деформації металу у валках. Унаслідок пружного сплющення валків перетин виходу металу з валків, що проходить через крапку B , зміститься управо і буде проходити через крапку B' (рис. 1.11). За рахунок пружного сплющення валків (збільшення $\frac{l}{h_{\text{ср}}}$ до $\frac{l_{\text{с}}}{h_{\text{ср}}}$) площа епюри тиску p_x збільшилася як зліва, так і праворуч від геометричної осі валків, що проходить через крапку B ; моменти цих додаткових площ щодо осі валків рівні між собою і обернені за знаком. Таким чином, робота, що витрачається на пластичну деформацію штаби, не залежить від того, є пружне сплющення валків чи його немає, що відповідає відомому положенню про те, що пружна деформація є оборотною. В даному випадку енергія пружної деформації валка (пружного радіального стиснення) при зростанні тиску p_x (ліва частина епюри - зона відставання металу при плющенні) відновлюється при зменшенні тиску p_x (права частина епюри - зона

випередження металу при плющенні). На підставі викладеного витікає, що

$$M_1 = Pa = P_c a_c = P\psi l = P_c \psi_c l,$$

звідки

$$\frac{\psi_c}{\psi} = \frac{a_c}{a} = \frac{P}{P_c} = \left(\frac{\rho_{cp}}{\rho_{cp.c}} \right) \frac{l}{l_c},$$

де $\psi_c = \frac{a_c}{l}$ – коефіцієнт плеча додатку рівнодіючої визначеної з урахуванням сплющення валків;

$\psi = \frac{a}{l}$ – те ж, для рівнодіючої P , визначеної без урахування пружного сплющення валків.

Відношення коефіцієнтів плеча додатку (або відношення плечей додатку) рівнодіючих обернено пропорційно до відношення рівнодіючих.

Одержимо

$$\frac{\psi_c}{\psi} = \frac{a_c}{a} = \frac{e^m - 1}{e^{m_c} - 1} < 1. \quad (20)$$

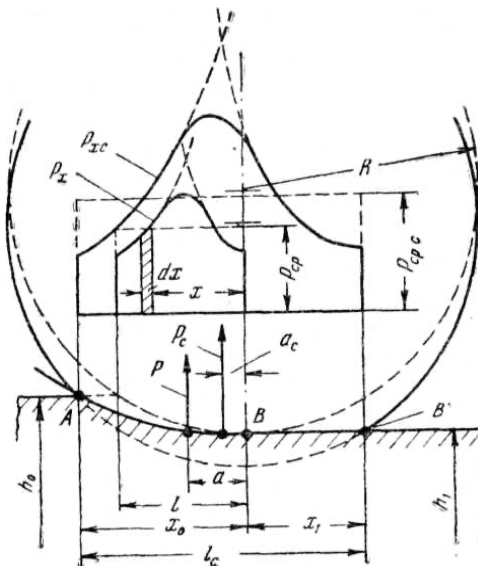


Рисунок 1.8 - До визначення плеча прикладення рівноважних P та P_c тиску на валки без урахування (а) та з урахуванням (a_c) пружного сплющення валків

На рис. 1.9 (ліва шкала) приведені криві залежності коефіцієнта φ_c від $m_c = \mu \frac{l_c}{h_{cp}}$ при різних значеннях коефіцієнта ν , отримані по формулі (20); значення φ прийняті для $\varepsilon = 0,2$. З розгляду цих кривих можна зробити наступні висновки:

1. Із збільшенням значень m_c і ν відношення φ_c / φ різко зменшується.
2. Зі зменшенням коефіцієнта b (тобто із збільшенням переднього і заднього натягнень штаби) і зменшенням тиску p_x відношення φ_c / φ збільшується і досягає максимуму, коли $\varphi_c = \varphi$.

3. При середніх значеннях $m_c = 0,5 \div 1,6$ і $\nu = 5 \div 0,1$ одержимо $\varphi_c / \varphi = 0,42 \div 0,72$ або, приймаючи $\varphi \sim 0,45$, одержимо: $\varphi_c = 0,2 \div 0,3$, що відповідає даній рекомендації для загального випадку холодного прокатування. Необхідно також відзначити, що насправді робота прокатування з урахуванням пружного сплюснення валків буде дещо більше роботи прокатування при абсолютно жорстких валках унаслідок зростання впливу контактних сил тертя при пружному збільшенні довжини дуги контакту металу з валком. Тому значення коефіцієнта φ_c будуть на 10-30% за більше вказаних вище.

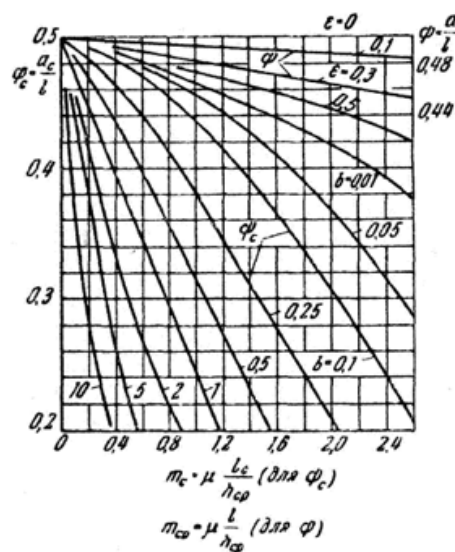
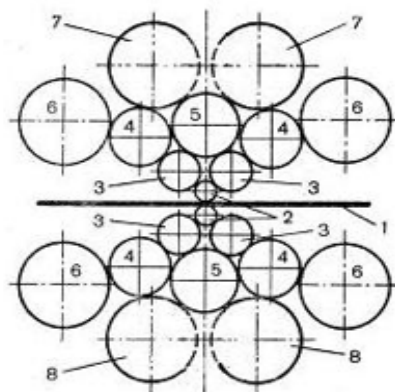


Рисунок 1.9 – Коефіцієнт плеча прикладення рівнодіючого тиску на валки

Для станів холодного прокатування умова “природного” захоплення металу валками не є лімітуючою, оскільки практично при прокатуванні тонких листів кут захоплення завжди значно менше коефіцієнта тертя. Основними чинниками тут є: 1) міцність і жорсткість валків і 2) можливість прокатування листів (штаби) мінімальної товщини [12]. Валки, що володіють достатньою міцністю і жорсткістю, забезпечують отримання холоднокатаних листів і штаби з гладкою поверхнею і з мінімальними допусками на разнотолщинність по ширині і довжині штаби. Холодна прокатка здійснюють на станах кварто (і багатовалкових), що мають жорстку робочу кліть і опорні валки великого діаметру, які майже повністю приймають на себе тиск при прокатці та розвантажують робочі валки від занадто великих напружень.

1.4 Метод вибору діаметрів проміжних валків 20-валкового стану по номограмі

Двадцять валків стану конструктивно об'єднані в дві симетричні піраміди, в кожній з яких робочий валок спирається на два перших проміжних, останні спираються на три других проміжних, які, у свою чергу, знаходяться у взаємному контакті з чотирма опорними валками. Схема розташування валків стану показана на рис. 1.10 [17]



1 – штаба, 2 – робочі валки, 3 – перші проміжні валки, 4, 5 – другі проміжні валки, 6-8 – опорні валки

Рисунок 1.10 – Валковий вузол 20-валкового стану

Валковий вузол є одним з найважливіших елементів робочої кліті, що робить безпосередній вплив на формування профілю і точність прокатуваних штаб. Надійність і довговічність валків і опорних роликів багатовалкових станів є вирішальними чинниками, що визначають якість продукції, продуктивність і економічну ефективність роботи станів.

Проміжні опорні і робочі валяння комплектують з урахуванням необхідного розчину валків. Довільне комплектування валків, без урахування необхідних величин діаметру бочок, може зробити завалення валків неможливою, може не забезпечити посадки робочих валків в «забій» або привести до задирак поверхні бочок із-за торкання між собою однойменних проміжних опорних валків (одного ярусу). Підбір комплекту валків багатовалкового стану – відповідальна і складна операція, помилка в якій може привести до аварії в процесі роботи. Правильний і швидкий підбір комплекту валків – питання великої важливості оскільки від цього залежать технічні можливості стану, його продуктивність і якість продукції.

Метод емпіричного підбору комплекту валків не дає надійного результату і пов'язаний з втратами часу і виробництва. Для вирішення завдань по комплектації валкового вузла найбільш точне рішення дає використання номограм, оскільки використання номограм дозволяє без втрат визначити практично всі можливі комбінації діаметрів валків для даного багатовалкового стану. Номограма для підбору комплекту валків [44], як розрахунковий інструмент, дозволяє без обчислень визначати діаметр валків 20-валкового стану для завалення в робочу кліть і володіє наступними основними перевагами :

1. Можливість інтерполяції. При підборі комплекту валків виникає безліч комбінацій діаметрів, які не можуть бути враховані іншими методами підбору, наприклад, довідковими таблицями. Графічну інтерполяцію, що не вимагає складних обчислень, дозволяє знайти з достатньою точністю залежність між будь-якими проміжними значеннями діаметрів валків піраміди.

2. Можливість рішення зворотних задач. Користуючись номограмою, можна вирішити будь-яке зворотнє завдання, визначити діаметр будь-яких валків, задавшись діаметрами інших валків комплекту.
3. Наочність методу. Представляється важливою перевагою можливість швидкого рішення задачі за рахунок зменшення числа варіантів підбору і виключення різних розрахунків, що вимагають великих витрат часу.

При побудові номограми для підбору комплекту валків були прийняті наступні умови: ексцентрики опор А, Д, Е, Н - «відкриті», ексцентрики опор В, С, G, F - «закриті».

При повороті ексцентриків до «відкритого» положення між робочими валяннями утворюється максимальний зазор для пропуску штаби при заправці. При плющенні може бути встановлено будь-яке проміжне положення, тобто одержаний будь-який необхідний зазор між валяннями.

3. Діаметр других проміжних неодружених валків більше діаметру приводних валків на 6,4 мм. Як показує аналіз характеристик працюючих 20-ти валкових станів, різниця в діаметрах цих валків складає звичайно 5 - 8мм.

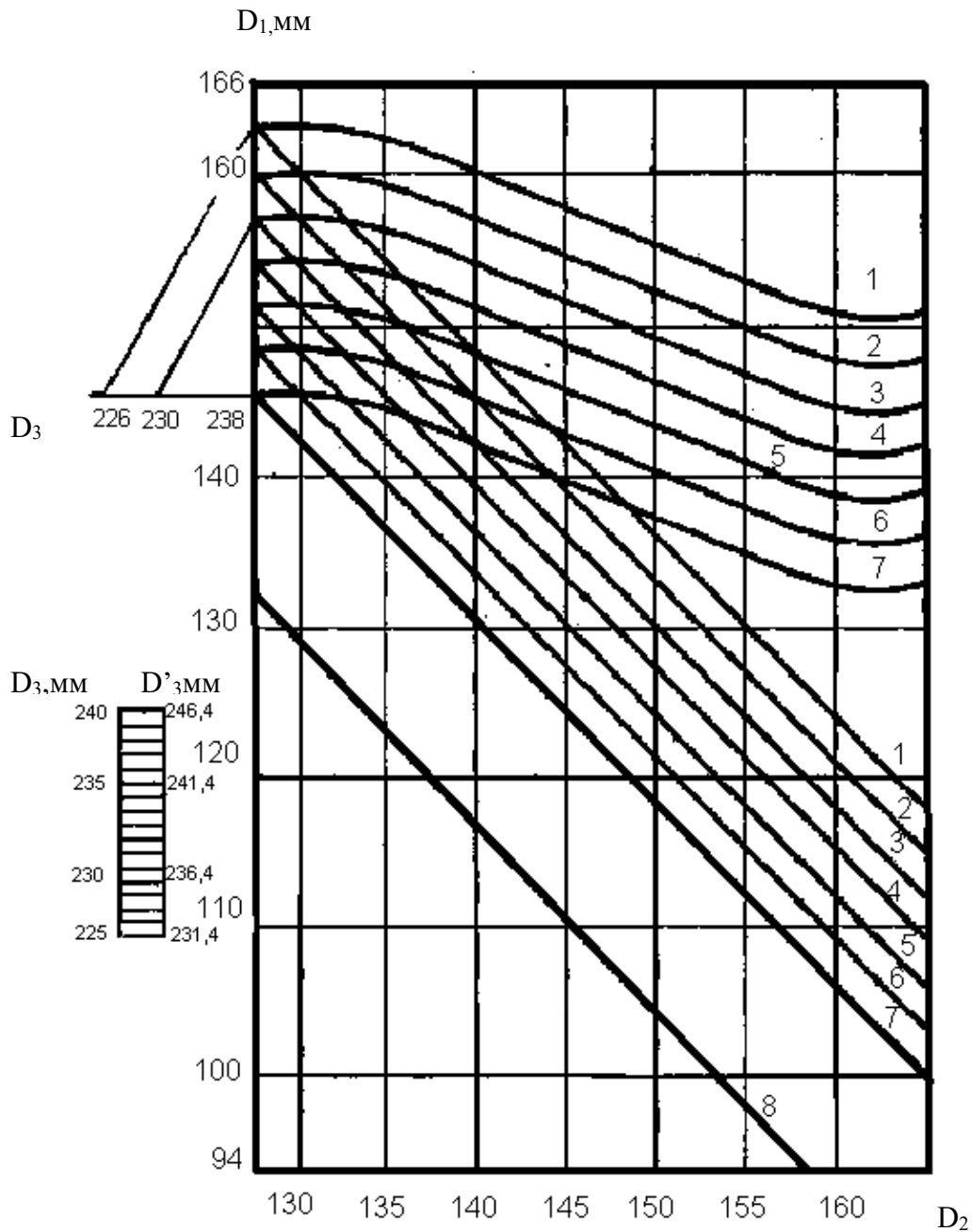
4. Діаметр опорних підшипників не міняється і складає 406,4мм.

Номограма приведена на рис.1.11 [55]

Використання номограми може бути показане на наступних прикладах:

1. Визначити діаметри проміжних валків при робочих валках $D_1=112\text{мм}$ і I-х проміжних валках $D_2=138\text{мм}$. Проводячи перпендикуляри з відповідних крапок на координатних осях, одержимо на перетині перпендикулярів крапку А, яка знаходиться поза діючим полем номограми, тобто така комбінація валків не може бути використана.
2. Визначити діаметри II-х проміжних валків при робочих валяннях $D_1=126,8\text{мм}$ і I-х проміжних валяннях $D_2=148\text{мм}$. Знаходимо крапку В на перетині перпендикулярів, відновлених з координат, відповідають діаметри $D_1=112\text{мм}$ і $D_2=138\text{мм}$. Крапка В знаходиться між прямими похилих, яким відповідають діаметри II-х проміжних приводних валків $D_3=232\text{ мм}$ і $D_3=234\text{мм}$ при повністю «відкритому» положенні

- ексцентриків бічних опорних валків (при $\alpha = 0^\circ$). Інтерполюючи, знаходимо для даної комбінації $D_3=233\text{мм}$. Для визначення значення діаметру II-го проміжного неодруженого валка звертаємося до частини номограми, поміщеної зліва, знаходимо, що $D_3=233\text{мм}$ відповідає $D'_3=239,4\text{мм}$. З цією комбінацією робочих і перших проміжних валків можуть бути використані II-е проміжні валяння менших діаметрів за рахунок регулювання ексцентриків бічних опорних підшипників. Для визначення діаметру II-го проміжного валка при $\alpha \neq 0^\circ$ $\alpha \neq 0^\circ$ з точки В проводимо пряму, паралельну похилим до перетину з віссю D'_1 . З точки В1 проводимо горизонтальну пряму. Ця пряма перетинає криві, яким відповідають різні значення діаметрів при різних положеннях ексцентриків бічних підшипників. Діаметр II-х проміжних приводних валків знаходиться в інтервалі $D_3=226\text{мм}$ (точка В2) при $\alpha = 144^\circ$ $\alpha = 144^\circ$ (точка В3) і $D_3=233\text{мм}$ при $\alpha = 0^\circ$ (точка В1). Наприклад, при $D_3=232\text{мм}$ (точка В4) кут повороту ексцентриків бічних валків буде $\alpha = 41,3^\circ$ (точка В5).
3. Визначити діаметри робочих і перших проміжних валків при діаметрі II-го проміжного приводного валка $D_3=234\text{мм}$, II-го проміжного неодруженого валка $D'_3 = 240,4\text{мм}$, кут повороту $\alpha = 0^\circ$. Для вирішення цього завдання на горизонтальній осі D_3 (зліва на номограмі) знаходимо крапку З, відповідну заданому діаметру і проводимо пряму, паралельну лініям, похилих, до перетину з віссю D_1 (точка С1). Можливі поєднання D_1 і D_2 є координатами точок, лежачих на прямих, паралельних похилим в правій частині номограми. При значенні $D_3=234\text{мм}$, але при, наприклад, проводимо пряму, паралельну осі D_1 з точки С2 до перетину з кривою, відповідною $D_3=234$ (точка С3). З цієї крапки проводимо горизонтальну пряму до перетину з віссю D_1 (точка С4). Можливі поєднання D_1 і D_2 є координатами точок прямої, проведеної з точки С4 паралельно прямим, похилих правої частини номограми.



Діаметри перших проміжних валків, мм^2

D_1 -діаметр робочого валка; D_2 -діаметр першого проміжного валка; D_3 -діаметр другого проміжного приводного валка; D'_3 - діаметр другого проміжного холостого валка;

(α акут повороту ексентриків, бокових опорних роликів)

Криві (1-7) при $\alpha = 0$ і (8) при $\alpha = 180^\circ$ відповідно для D_3 рівних, мм:

1-226; 2-228; 3-230; 4-232; 5-234; 6-236; 7 і 8-238

Рисунок 1.11 - Номограма для вибору діаметра валків 20-валкового стану

2 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичне обґрунтування дослідницької проблеми

Головна мета даного розділу – теоретично визначити найбільш точні методи визначення мінімальної товщини штаби.

Діаметр робочого валка знаходиться у прямій залежності від мінімальної товщини штаби, що прокатується (h_{min}).

Проблема визначення h_{min} є однією з найскладніших у теорії прокатування, так як залежить від багатьох факторів : пружних постійних матеріалу валків та штаби, технологічних параметрів прокатування, механічних якостей штаби, умов контактного тертя між валками та штабою та інше.

Відомо близько десяти формул для визначення h_{min} з використання різних теорій та гіпотез.

Нижче наведено детальний аналіз існуючих формул для визначення h_{min} , отриманих рядом зарубіжних дослідників.

Відомо, що Павельськи та Федінг узагальнили та зіставили основні висновки відомих теоретичних рішень для визначення h_{min} , розділивши останні на дві групи в залежності від покладених в їх основу припущень.

До першої групи (формули 1 – 4 та 6 див. табл.2) належать розв'язки, основані на припущенні про присутність в джерелі деформації лише пластичної деформації штаби та дії тертя ковзання по всій контактній поверхні. Пружне стиснення валків визначають по формулі Хічкока.

До другої групи відносяться розв'язки, в яких врахована пружна деформація штаби. В цьому випадку під мінімальною товщиною розуміють таку початкову товщину штаби, при якій пластична деформація стає рівною нулю.

Таблиця 2.1 - Формули для визначення мінімальної товщини штаби

Номер	Автор	Формула для h_{min}
1	Стоун	$0.77 fckD_1$
2	Стоун	$3.92fkD_1(1 - \mu_B) / E_B$
3	Тонг	$3.62fkD_1 / E_B$
4	Трост	$\frac{ckD_1}{8} \left[1 + \frac{1-4f}{\left(\ln \frac{1}{2f} - 1\right)^2} \right]$
5	Форд, Александр	$\frac{7.11f^2D_1(1 - \mu_{II})^2}{E_{II}} + \frac{4.02fD_1(1 - \mu_B)^2}{E_B}$
6	Робертс	$(0.585 \div 1.25)fkD_1 / E_B$

Примітка. f – коефіцієнт контактного тертя; D_1 - діаметр робочого валка; $\mu_B, \mu_{II}, E_B, E_{II}$ - відповідно коефіцієнти Пуассона та модулі пружності валків та штаби; $c = 16(1 - \mu_B^2) / \pi E_B$; $k = 1.15\sigma_T - \sigma_{CP}$ (σ_T - межа текучості матеріалу штаби; σ_{CP} - середня питома напруга, $\sigma_{CP} = 0.5(\sigma_3 + \sigma_{II})$, σ_3, σ_{II} - відповідно задня та передня питома напруга).

Для станів холодного прокатування (дуо, кварто, багатовалкових) умова “природного” захоплення металу валками не є лімітуючою, оскільки практично при прокатуванні тонких листів кут захоплення завжди значно менше коефіцієнта тертя. Основними чинниками тут є: 1) міцність і жорсткість валків і 2) можливість прокатування листів (штаби) мінімальної

товщини.

Валки, що володіють достатньою міцністю і жорсткістю, забезпечують отримання холоднокатаних листів і штаби з гладкою поверхнею і з мінімальними допусками на разнотолщинність по ширині і довжині листів (штаби). Холодне прокатування здійснюють на станах кварто (і багатовалкових), що мають жорстку робочу кліть і опорні валки великого діаметру, які майже повністю приймають на себе тиск при прокатуванні та розвантажують робочі валки від занадто великих напруг перегину.

Можливість отримання при холодному прокатуванні листів (штаби) мінімальної товщини залежить від пружного контактного сплюснення робочих валків і визначається формулою (18)

$$h_{\text{пред}} = h_{\text{min}} = 1,65 \cdot 10^{-5} \mu D (k_{\text{cp}} - \sigma_{\text{cp}}). \quad (21)$$

Для випадку холодного прокатування сталеві штаби з натягненням при використанні шліфованих валків з високою якістю поверхні і при хорошому мастилі штаби і валків можна приймати наступні середні значення: $k_{\text{cp}} - \sigma_{\text{cp}} = 500 \text{ н/мм}^2$ (50 кг/мм^2) і $\mu = 0,06$; тоді одержимо наступну формулу для орієнтовного визначення діаметру робочих валків, що забезпечують отримання штаби мінімальної товщини [54]:

$$D_{\text{max}} = \frac{1}{2000} h_{\text{min}}. \quad (22)$$

Для прокатних станів різного призначення практикою встановлені наступні найбільш раціональні співвідношення між завдовжки бочки валків і її діаметром (L/D):

Обтискові стани	.....	2,2-2,7
Сортові стани	.....	1,6-2,5
Товстолистові	.....	2,2-2,8

Стани кварто:

робочі валки	.....	3 – 5
опорні валки	.....	1,5 – 2,5

Після попереднього вибору основних розмірів валків на підставі приведених вище співвідношень остаточні розміри валків необхідно погоджувати з нормальним рядом їх по ГОСТ 5399-56 і потім виконати перевірочний розрахунок валків на міцність і визначити їх жорсткість (прогин). Конструктивні елементи валків дані в атласі.

2.2 Методика виконання роботи

Зарубіжна та вітчизняна практика конструювання та експлуатування багатовалкових станів дозволяє зробити деякі висновки стосовно оптимальних співвідношень діаметрів валків і найвдалішого їх розміщення в кліті.

Аналіз технічних характеристик деяких 20-валкових станів показує, що співвідношення номінальних діаметрів валків більшою частиною знаходиться в межах :

$$D_{\text{раб}} : D_I : D_{II} : D_{\text{оп}} = 1 : (1,6 - 2,2) : (2,3 - 3,9) : (3,7 - 6,6)$$

На практиці іноді зустрічається, що номінальний діаметр робочого валка (наприклад, стан 1700 комбінату ПАТ “Запоріжсталь”, стан “1200”Новолипецького металургійного заводу, де $D_I / D_{\text{раб}} = 132,4 \text{ мм} / 152,4 \text{ мм} = 0,84$). Застосування робочих валків більшого діаметру, ніж перші проміжні валки, викликано чисто кон`юктурними причинами і не може бути технічно обгрунтовані.

Розміщення валків в кліті характеризується кутами між лініями, що з'єднують їх центри (см. рис. 2.1). Кути в свою чергу визначаються співвідношеннями діаметрів валків. Найчастіше зустрічаються величини цих кутів, отримані на основі аналізу технічних характеристик зарубіжних та вітчизняних станів наступні :

$$\alpha_1 = 9 \div 16^\circ \quad \beta_1 = 160 \div 166^\circ \quad \gamma_1 = 5,7 \div 10^\circ$$

$$\alpha_2 = 9,5 \div 15^\circ \quad \beta_2 = 161 \div 165^\circ \quad \gamma_2 = 5,5 \div 6,5^\circ$$

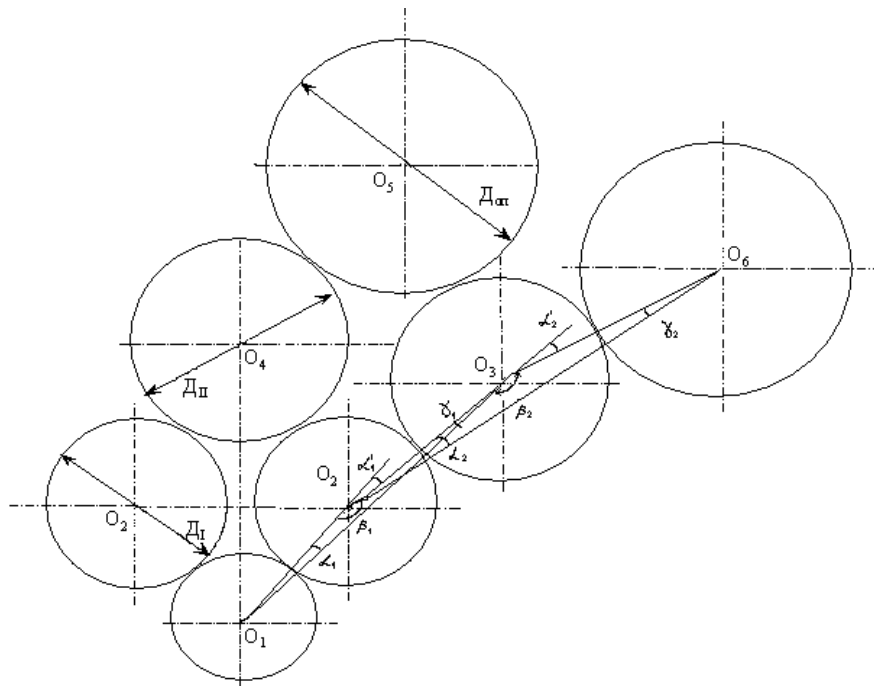


Рисунок 2.1 - Кути, що визначають розміщення та стійкість валків 20-ти валкового стану

Співвідношення діаметрів валків багатовалкових станів визначається умовами їх стійкості проти розвалювання валкової піраміди в процесі прокатки. Теоретично це забезпечується тим, що кути α_1 та α_2 повинні бути більше 0° . Аналіз технічних характеристик багатовалкових станів показує, що значення цих кутів $\alpha'_1 \geq 13^\circ$ і $\alpha'_2 \geq 15^\circ$ забезпечує стійкість верхньої валкової піраміди.

Із всього сказаного вище можна зробити висновок, що підбір комплекту валків багатовалкового стану – відповідальна і складна операція, помилка в якій може привести до аварії в процесі роботи. Правильний і швидкий підбір комплекту валків – дуже важливе питання оскільки від цього залежать технічні можливості стану, його продуктивність і якість продукції.

Метод емпіричного підбору комплекту валків не дає надійного результату і пов'язаний з втратами часу і виробництва. Для вирішення завдань

по комплектації валкового вузла найбільш точне рішення дає використання номограм, оскільки використання номограм дозволяє без втрат визначити практично всі можливі комбінації діаметрів валків для даного багатовалкового стану.

При побудові номограми для підбору комплекту багатовалкового стану необхідно визначити координати центрів робочих та проміжних валків та діаметр робочого валка в залежності від діаметрів проміжних валків, опорних роликів та розміщення осей з опорними роликами. Для розв'язку цієї задачі в загальному випадку приймаємо відомими координатами центрів O_6 і O_5 опорних роликів $(a_6 ; b_6)$ і $(a_5 ; b_5)$, а також радіус опорних роликів R_6 і R_5 , при чому $R_6 = R_5$ і проміжних опорних валків R_3, R_4, R_2 .

Координати центру O_3 другого проміжного приводного валка:

$$a_3 = \frac{\frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6} \cdot \frac{a_5^2 + b_5^2 - a_6^2 - b_6^2}{2(b_5 - b_6)} - \frac{b_6(a_6 - a_5)}{b_5 - b_6} - a_6}{1 + \left(\frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6}\right)^2} \pm \sqrt{\frac{\left(\frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6} \cdot \frac{a_5^2 + b_5^2 - a_6^2 - b_6^2}{2(b_5 - b_6)} - \frac{b_6(a_6 - a_5)}{b_5 - b_6} - a_6\right)^2}{1 + \left(\frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6}\right)^2} - \frac{a_6^2 + b_6^2 - 2b_6^2 \cdot \frac{a_5^2 + b_5^2 - a_6^2 - b_6^2}{2(b_5 - b_6)} - \left(\frac{a_5^2 + b_5^2 - a_6^2 - b_6^2}{2(b_5 - b_6)}\right)^2 - (R_3 + R_6)^2}{1 + \left(\frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6}\right)^2} + \frac{\left(\frac{a_5^2 + b_5^2 - a_6^2 - b_6^2}{2(b_5 - b_6)}\right)^2 - (R_3 + R_6)^2}{1 + \left(\frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6}\right)^2}}; \quad (23)$$

$$b_3 = \frac{a_6 - a_5}{b_5 - b_6} \cdot a_3 + \frac{a_5^2 + b_5^2 - a_6^2 - b_6^2}{2(b_5 - b_6)}; \quad (24)$$

$$a_3 = 275,7 \text{ мм}$$

$$R_2 = 77 \text{ мм}$$

$$a_5 = 200,025 \text{ мм}$$

$$R_3 = 120 \text{ мм}$$

$$a_6 = 553,24 \text{ мм}$$

$$R_4 = 115 \text{ мм}$$

$$R_6 = R_5 = 203,2 \text{ мм}$$

$$b_5 = 594,52 \text{ мм}$$

$$b_6 = 343,69 \text{ мм}$$

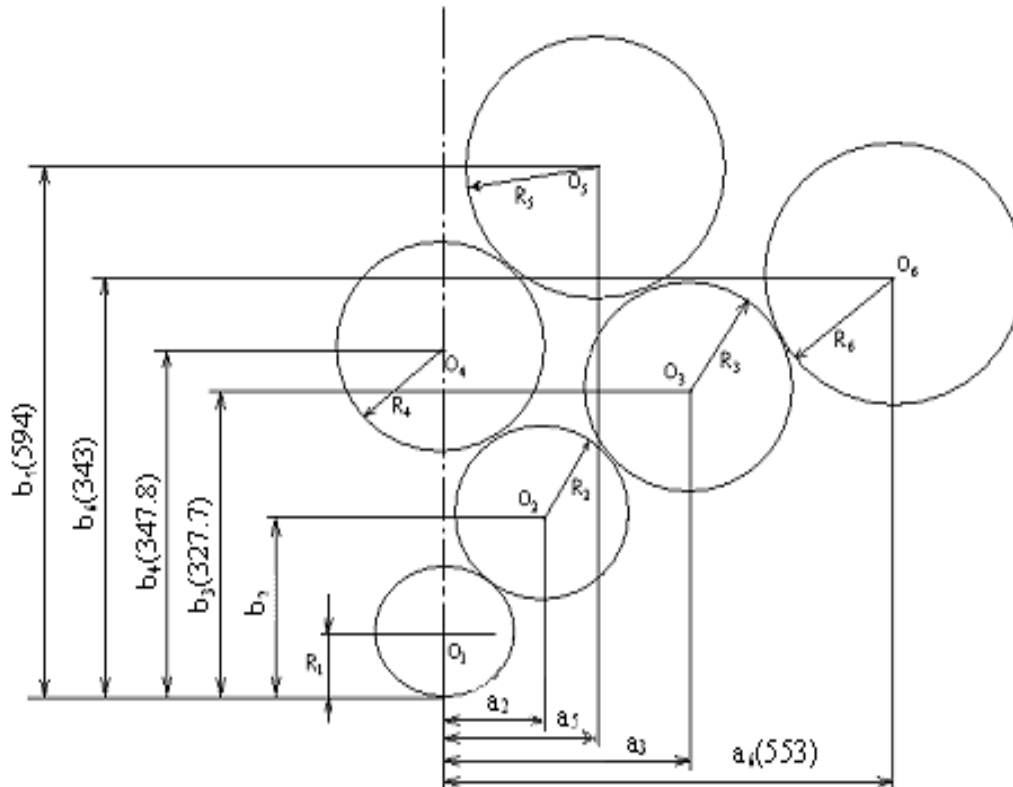


Рисунок 2.2 – До визначення координат центрів валків

Координати центру O_4 другого проміжного приводного валка:

$$a_4 = 0; \quad b_4 = b_5 - \sqrt{(R_4 + R_5)^2 - a_5^2}; \quad (25)$$

Координати центру O_2 другого проміжного приводного валка:

$$a_2 = \frac{(b_4 - b_3) \cdot [b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2] - 2b_4 a_3^2 (b_4 - b_3)}{2a_3 [a_3^2 + (b_4 - b_3)^2]} - \sqrt{\frac{(b_4 - b_3) \cdot [b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2 - 2b_4 a_3^2] (b_4 - b_3)^2 - (b_4 - b_3)^2 \cdot 4a_3^2 [b_4^2 - (R_4 + R_2)^2] + [b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2]^2}{4[a_3^2 + (b_4 - b_3)^2]}} + \frac{b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2}{2a_3}; \quad (26)$$

$$b_2 = \frac{(b_4 - b_3) \cdot [b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2] - 2b_4 a_3^2}{2[a_3^2 + (b_4 - b_3)^2]} \pm \sqrt{\frac{\{(b_4 - b_3) \cdot [b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2] - 2b_4 a_3^2\}^2 - 4a_3^2 [b_4^2 - (R_4 + R_2)^2] + [b_3^2 + a_3^2 - (R_2 + R_3)^2 - b_4^2 + (R_4 + R_2)^2]^2}{4[a_3^2 + (b_4 - b_3)^2]^2}}; \quad (27)$$

Радіус робочого валка:

$$R = \frac{b_2^2 + a_2^2 - R_2^2}{2(b_2 + R_2)} \quad (28)$$

При підборі комплекту валків для стану повинні виконуватися наступні вимоги, які поєднувалися б із можливостями парка відшліфованих та готових до роботи валків:

1. Розчин між робочими валками повинен знаходитися в межах, що визначаються паспортними характеристиками даного стану;
2. При регулюванні розчину між робочими валками, встановленні рівня прокатки, тобто при повороті ексцентрикових втулок опорних підшипників, валки одного горизонту не повинні доторкатися, так як це призводить до аварії в процесі роботи стану
3. Для забезпечення стійкості піраміди валків кути повинні бути відповідно $\alpha'_1 \geq 13^\circ$ і $\alpha'_2 \geq 15^\circ$ [9]

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку

Д привод (мм)	Д холост (мм)	155	151	147	143	139	135	Положення бічних ексцентрикі в
		\sum Д робочих валків max / min (мм)						
241	247	220/210	230/216	240/222	250/230	260/238	270/248	0 ÷ 6
237	243	232/220	242/222	251/227	262/234	-	-	0 ÷ 10
233	239	244/226	254/230	264/236	-	-	-	0 ÷ 10
239	247	220/210	230/220	244/226	257/240	265/250	-	0 ÷ 6
235	247	234/214	244/220	252/230	262/240	-	-	0 ÷ 9
231	247	242/218	254/230	262/240	-	-	-	0 ÷ 10
227	247	250/230	262/240	-	-	-	-	0 ÷ 10
241	243	226/212	234/226	242/232	254/236	262/246	-	0 ÷ 7
237	243	232/224	243/230	250/234	262/238	-	-	0 ÷ 10
233	243	240/218	252/230	262/238	-	-	-	0 ÷ 10
229	243	250/230	262/238	-	-	-	-	0 ÷ 10

241	239	-	236/230	246/240	256/246	265/250	-	0÷7
237	239	238/232	246/235	254/240	266/245	-	-	0÷8
233	239	245/232	254/238	263/242	-	-	-	0÷10
229	239	256/237	264/242	-	-	-	-	0÷10
241	235	-	238/234	247/240	258/244	265/249	-	0÷8
237	235	-	250/246	260/250	270/254	-	-	0÷7
233	235	250/242	258/250	270/250	-	-	-	0÷8
229	235	258/240	266/245	-	-	-	-	0÷9
241	231	-	-	-	266/260	-	-	0÷3
237	231	-	254/254	265/260	-	-	-	0÷2
233	231	255/251	262/255	270/260	-	-	-	0÷6
229	231	262/253	270/255	-	-	-	-	0÷7

3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розрахунок мінімальної товщини штаби для холодного прокатування неіржавіючої сталі проводиться для діаметрів робочих валків $D = 5 - 15 - 25 - 40 - 55 - 70 - 85 - 100 - 115 - 130$ мм.

Розрахунки проведені по семи формулам.

3.1 Формула Стоуна (1)

$$h_{min} = \frac{3.92fkD(1 - \mu_B)}{E_B},$$

де f - коефіцієнт контактного тертя

$$f = 0,12$$

$$k = 1.15 \cdot \sigma_T = 1.15 \cdot 1000 = 1150 \text{ МПа}$$

μ_B - коефіцієнт Пуассона

$$\mu_B = 0,3$$

E_B - модуль пружності

$$E_B = 2,1 \cdot 10^5$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 5 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.009 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 15 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.027 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 25 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.045 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 40 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.072 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 55 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.1 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 70 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.14 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 85 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.15 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 100 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.18 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 115 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.21 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 130 \cdot (1 - 0.3)}{2.1 \cdot 10^5} = 0.23 \text{ мм}$$

3.2 Формула Стоуна (2)

$$h_{min} = 0.77 f c k D,$$

де f - коефіцієнт контактного тертя

$$f = 0,12$$

$$c = 2.2 \cdot 10^{-5}$$

$$k = 1.15 \cdot \sigma_T = 1.15 \cdot 1000 = 1150 \text{ МПа}$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 5 = 0.0115 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 15 = 0.0345 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 25 = 0.057 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 40 = 0.092 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 55 = 0.12 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{\min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 70 = 0.16 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{\min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 85 = 0.19 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{\min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 100 = 0.23 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{\min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 115 = 0.27 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

$$h_{\min} = 0.77 \cdot 0.12 \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 130 = 0.30 \text{ мм}$$

3.3 Формула Тонга

$$h_{\min} = \frac{3.62 f k D}{E_B},$$

де f - коефіцієнт контактної тертя

$$f = 0,12$$

$$k = 1.15 \cdot \sigma_T = 1.15 \cdot 1000 = 1150 \text{ МПа}$$

E_B - модуль пружності

$$E_B = 2,1 \cdot 10^5$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 5}{2.1 \cdot 10^5} = 0.0118 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 15}{2.1 \cdot 10^5} = 0.035 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 25}{2.1 \cdot 10^5} = 0.059 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 40}{2.1 \cdot 10^5} = 0.095 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 55}{2.1 \cdot 10^5} = 0.13 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 70}{2.1 \cdot 10^5} = 0.16 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 85}{2.1 \cdot 10^5} = 0.22 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 100}{2.1 \cdot 10^5} = 0.26 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 115}{2.1 \cdot 10^5} = 0.29 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

$$h_{min} = \frac{3.92 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 130}{2.1 \cdot 10^5} = 0.33 \text{ мм}$$

3.4 Формула Корольова

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \mu \cdot D \cdot (k_{cp} - \sigma_{cp}),$$

де $\mu = 0,3$

$$k_{cp} - \sigma_{cp} = 500 \text{ Н/мм}^2$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 5 \cdot 500 = 0,0124 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 15 \cdot 500 = 0,0371 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot 500 = 0,0619 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 40 \cdot 500 = 0,099 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 55 \cdot 500 = 0,1361 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 70 \cdot 500 = 0,1733 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 85 \cdot 500 = 0,2104 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 100 \cdot 500 = 0,2475 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 115 \cdot 500 = 0,2846 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

$$h_{min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 \cdot 130 \cdot 500 = 0,3218 \text{ мм}$$

3.5 Формула Троста

$$h_{min} = \frac{ckD_1}{8} \left[1 + \frac{1 - 4f}{\left(\ln \frac{1}{2f} - 1\right)^2} \right]$$

де f - коефіцієнт контактного тертя

$$f = 0,12$$

$$c = 2,2 \cdot 10^{-5}$$

$$k = 1,15 \cdot \sigma_T = 1,15 \cdot 1000 = 1150 \text{ МПа}$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 5}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0,12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0,12} - 1 \right)^2} \right] = 0,0608 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 15}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0,12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0,12} - 1 \right)^2} \right] = 0,1827 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 25}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0,12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0,12} - 1 \right)^2} \right] = 0,3044 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = \frac{2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 40}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0,12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0,12} - 1 \right)^2} \right] = 0,4871 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = \frac{2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 55}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0.12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0.12} - 1 \right)^2} \right] = 0,6697 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{min} = \frac{2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 70}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0.12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0.12} - 1 \right)^2} \right] = 0,8523 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{min} = \frac{2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 85}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0.12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0.12} - 1 \right)^2} \right] = 1,035 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{min} = \frac{2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 100}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0.12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0.12} - 1 \right)^2} \right] = 1,2177 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{min} = \frac{2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 115}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0.12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0.12} - 1 \right)^2} \right] = 1,400 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

$$h_{min} = \frac{2.2 \cdot 10^{-5} \cdot 1150 \cdot 130}{8} \left[1 + \frac{1 - 4 \cdot 0.12}{\left(\ln \frac{1}{2 \cdot 0.12} - 1 \right)^2} \right] = 1,583 \text{ мм}$$

3.6 Формула Форда - Александера

$$h_{min} = \frac{7.11 f^2 D_1 (1 - \mu_{II})^2}{E_{II}} + \frac{4.02 f D_1 (1 - \mu_B)^2}{E_B}$$

де f - коефіцієнт контактної тертя

$$f = 0,12$$

E_B - модуль пружності

$$E_B = 2,1 \cdot 10^5$$

μ_B - коефіцієнт Пуассона

$$\mu_B = 0,3$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 5 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 5 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 0.1195 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 15 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 15 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 0.3583 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 25 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 25 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 0.5973 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 40 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 40 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 0.9556 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 55 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 55 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 1.314 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 70 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 70 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 1.6723 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 85 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 85 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 2.0307 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 100 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 100 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 2.3891 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 115 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 115 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 2.7474 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

$$h_{min} = \frac{7.11 \cdot 0.12^2 \cdot 130 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} + \frac{4.02 \cdot 0.12 \cdot 130 \cdot (1 - 0.3)^2}{2.1 \cdot 10^5} = 3.1058 \text{ мм}$$

3.7 Формула Робертса

$$h_{min} = (0.585 \div 1.25)fkD_1 / E_B$$

де f - коефіцієнт контактного тертя

$$f = 0,12$$

E_B - модуль пружності

$$E_B = 2,1 \cdot 10^5$$

$$k = 1.15 \cdot \sigma_T = 1.15 \cdot 1000 = 1150 \text{ МПа}$$

D - діаметр робочого валка

Для $D = 5$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 5}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0033 \text{ мм}$$

Для $D = 15$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 15}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0098 \text{ мм}$$

Для $D = 25$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 25}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0164 \text{ мм}$$

Для $D = 40$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 40}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0263 \text{ мм}$$

Для $D = 55$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 55}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0361 \text{ мм}$$

Для $D = 70$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 70}{2.1 \cdot 10^5} = 0,046 \text{ мм}$$

Для $D = 85$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 85}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0558 \text{ мм}$$

Для $D = 100$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 100}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0657 \text{ мм}$$

Для $D = 115$ мм

$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 115}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0756 \text{ мм}$$

Для $D = 130$ мм

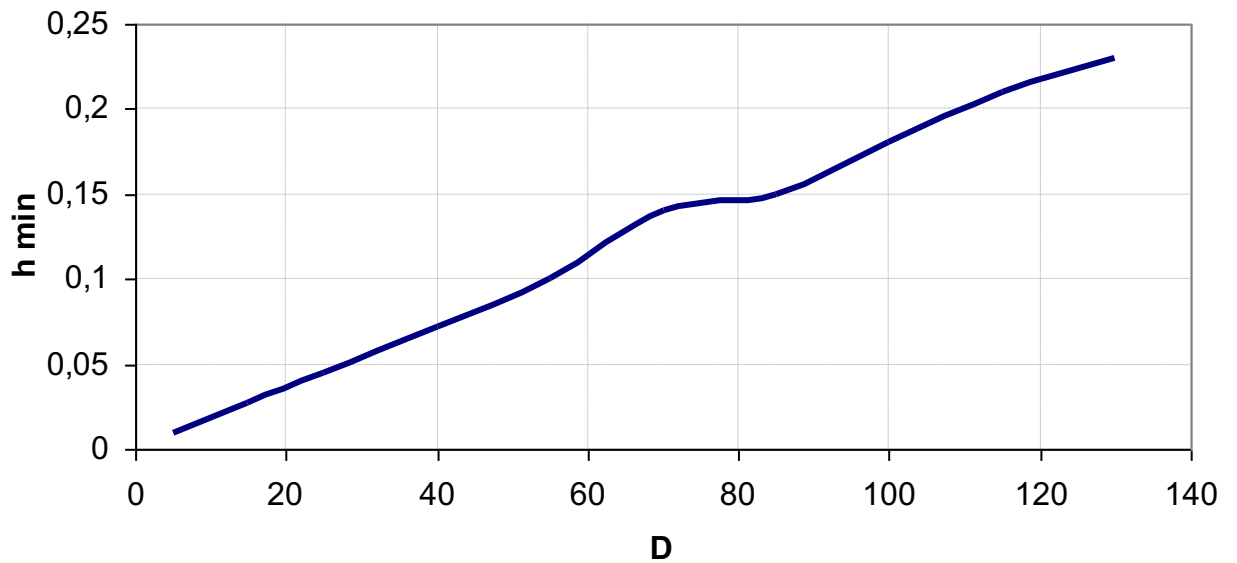
$$h_{min} = \frac{1 \cdot 0.12 \cdot 1150 \cdot 130}{2.1 \cdot 10^5} = 0,0854 \text{ мм}$$

Результати обчислень заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку мінімальної товщини штаби

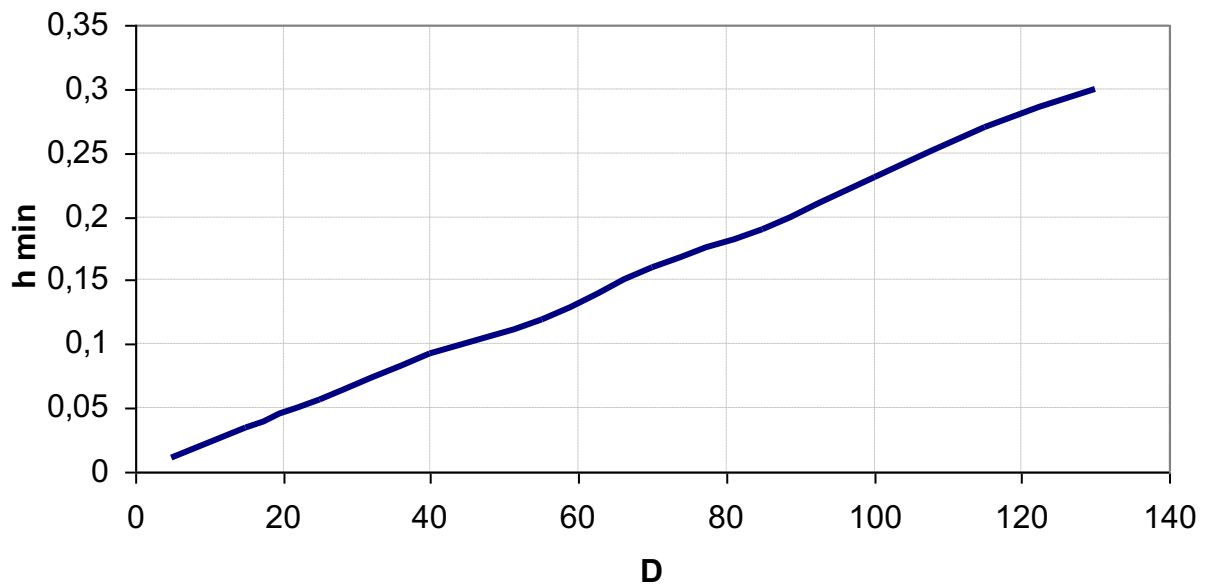
Діаметр	h_{\min} , мм						
	Формула						
	Стоуна (1)	Стоуна (2)	Тонга	Корольова	Троста	Форда - Александера	Робертса
5	0,009	0,0115	0,0118	0,0124	0,0608	0,1195	0,0033
15	0,027	0,0345	0,035	0,0371	0,1827	0,3583	0,0098
25	0,045	0,057	0,059	0,0619	0,3044	0,5973	0,0164
40	0,072	0,092	0,095	0,099	0,4871	0,9556	0,0263
55	0,1	0,12	0,13	0,1361	0,6697	1,314	0,0361
70	0,14	0,16	0,16	0,1733	0,8523	1,6723	0,046
85	0,15	0,19	0,22	0,2104	1,035	2,0307	0,0558
100	0,18	0,23	0,26	0,2475	1,2177	2,3891	0,0657
115	0,21	0,27	0,29	0,2846	1,400	2,7474	0,0756
130	0,23	0,30	0,33	0,3218	1,583	3,1058	0,0854

Залежність товщини штаби від діаметра робочого валка



Формула Стоуна (1) : $h_{min} = 0.77 fckD_1$

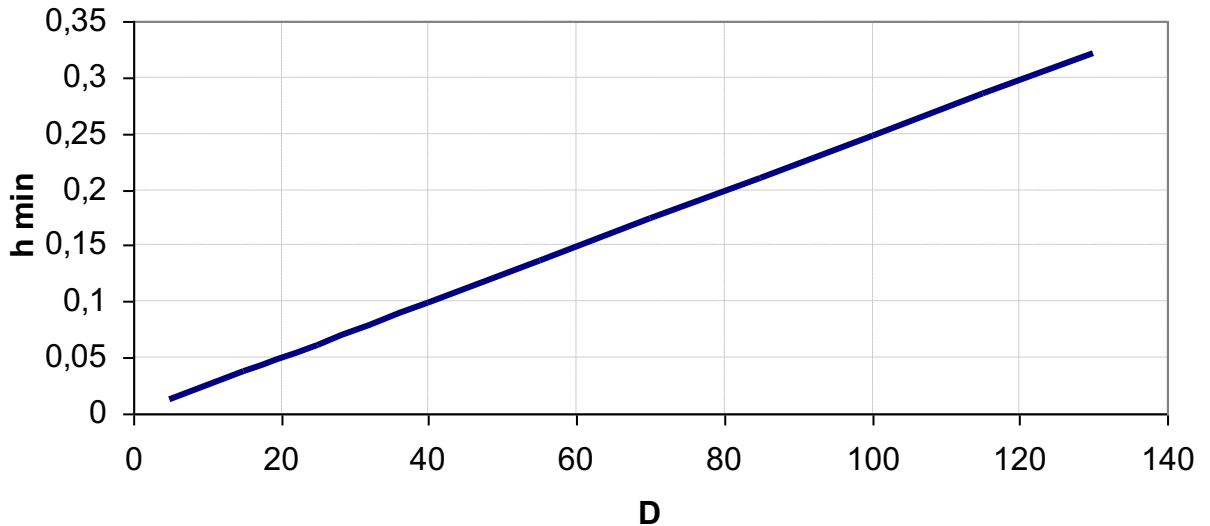
Залежність товщини штаби від діаметра робочого валка



Формула Стоуна (2) : $h_{min} = 3.92 fkD_1(1 - \mu_B) / E_B$

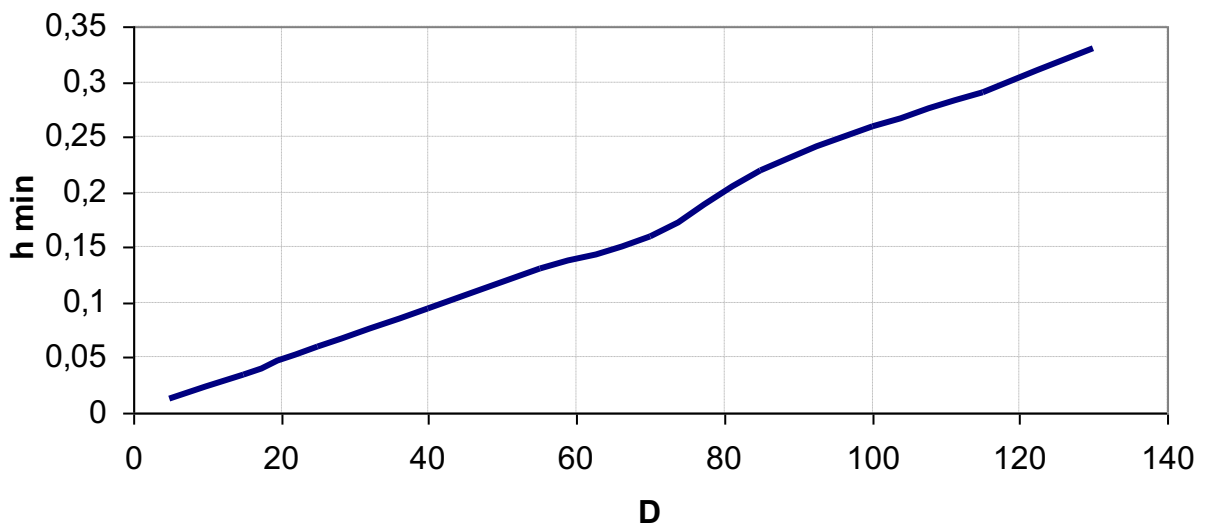
Рисунок 3.1 – Порвняння формул Стоуна (1) і (2)

Залежність товщини штаби від діаметра робоого валка



Формула Корольова : $h_{\min} = 1.65 \cdot 10^{-5} \mu \cdot D \cdot (k_{cp} - \sigma_{cp})$

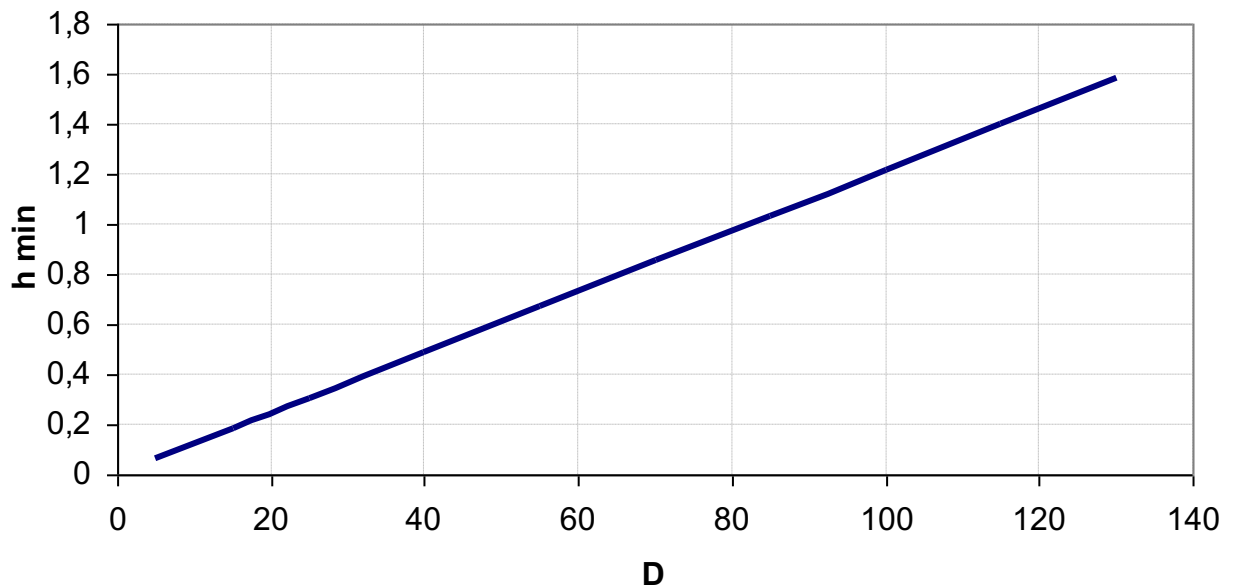
Залежність товщини штаби від діаметра робоого валка



Формула Тонга : $h_{\min} = 3.62 f k D_1 / E_B$

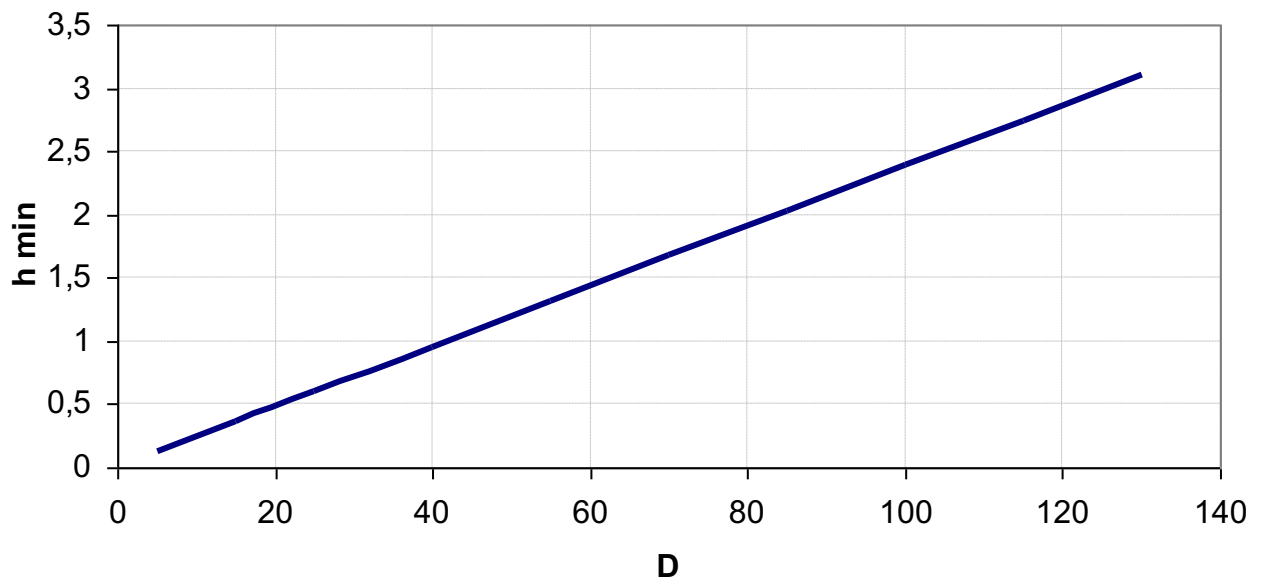
Рисунок 3.2 – Порвняння формул Корольова та Тонга

Залежність товщини штаби від діаметра робочого валка



Формула Троста :
$$h_{\min} = \frac{ckD_1}{8} \left[1 + \frac{1-4f}{(\ln \frac{1}{2f} - 1)^2} \right]$$

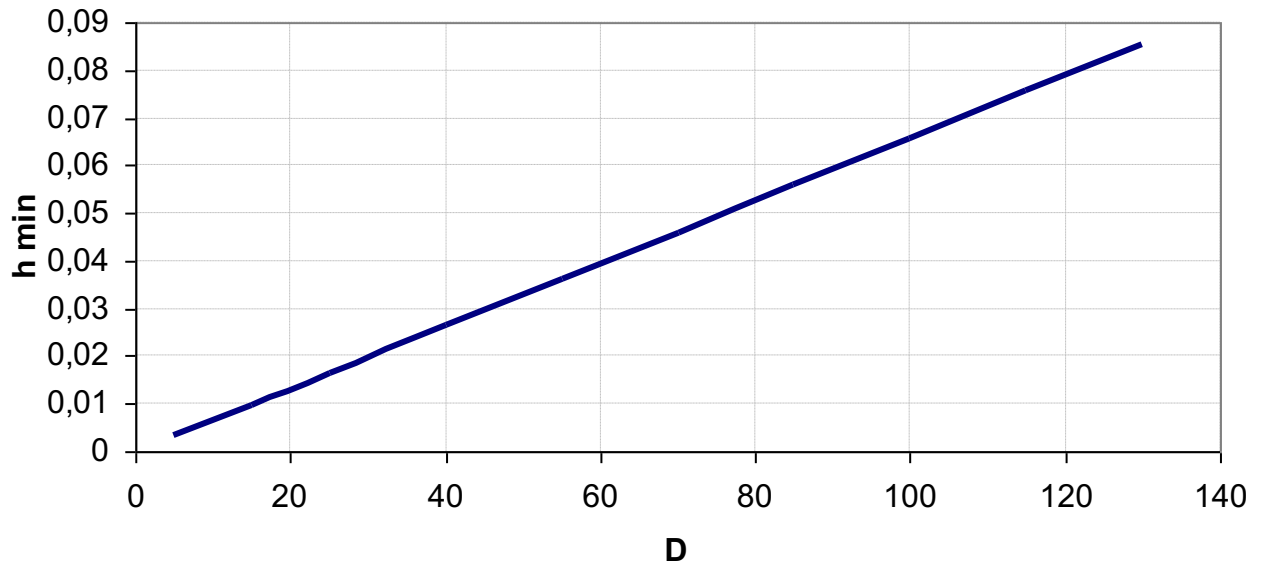
Залежність товщини штаби від діаметра робочого валка



Формула Форда - Олександера :
$$h_{\min} = \frac{7.11f^2 D_1 (1 - \mu_{II})^2}{E_{II}} + \frac{4.02f D_1 (1 - \mu_B)^2}{E_B}$$

Рисунок 3.3 – Порвняння формул Троста та Форда - Олександера

Залежність товщини штаби від діаметра робочого валка



Формула Робертса : $h_{min} = 1 \cdot f k D_1 / E_B$

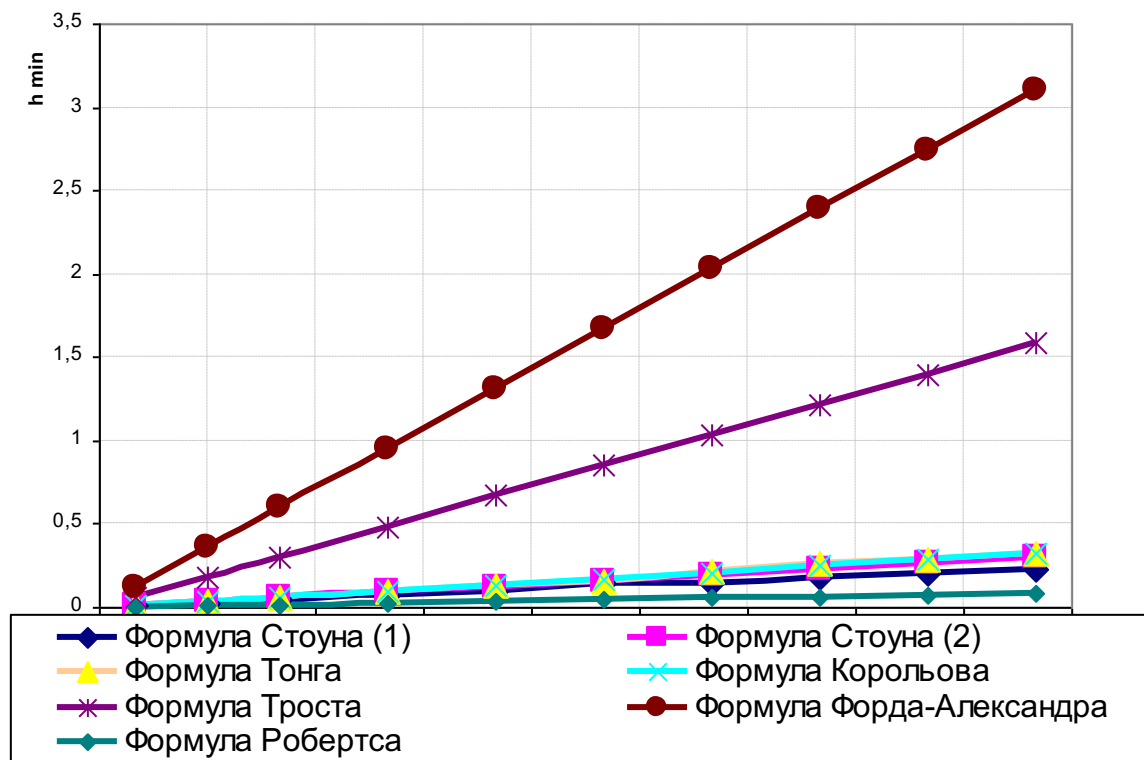


Рисунок 3.4 – Порівняння формул Робертса та результуючий графік

3.8 Математичне планування

З метою вивчення залежності модуля жорсткості від відносин діаметрів контактуючих валків і опорних роликів використовуємо дробовий факторний експеримент по методу Бокса-Уїлсона розглянутого в роботі [1].

Потрібно вибрати оптимальне відношення діаметрів контактуючих валків і опорних роликів з метою забезпечення максимальної жорсткості валкового вузла.

D_1 -рабочий валок

D_2 -первый проміжний валок

D_3 - другий проміжний валок

D_4 -опорный валок

Три чинники:

$$X_1=K_1=D_1/D_2 \quad X_2=K_2=D_2/D_3 \quad X_3=K_3=D_3/D_4$$

Параметр оптимізації кут α .

Досліджувані чинники, характер їх змін і схеми кодування приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	Відношення D_1/D_2	Відношення D_2/D_3	Відношення D_3/D_4
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	0.5	0.5	0.5
Інтервал варіації	0.1	0,1	0.1
Нижній рівень (закодоване значення -1, -)	0.4	0.4	0.4
Верхній рівень (закодоване значення +1, +)	0.6	0.6	0.6

СКЛАДАННЯ ПЛАНУ ЕКСПЕРИМЕНТА

При складанні плану ПФЕ треба стежити, щоб не було повторів. Щоб уникнути повторів дослідів, скористаємося принципом, в роботі[1] в таблиці 3.2

Таблиця 3.3 - Матриця повного факторного експерименту від 2^2 до 2^3

План	Номер дослідів	X_1	X_2	X_3
2^2	1	+	+	+
	2	-	+	+
	3	+	-	+
	4	-	-	+
2^3	5	+	+	-
	6	-	+	-
	7	+	-	-
	8	-	-	-

З метою скорочення числа експериментів проводимо дробовий трьох факторний експеримент.

Для побудови плану дробового факторного експерименту в роботі [1] з таблиці 3.3 вибираємо дробову репліку наступного вигляду: abc, c, a, b. Записуємо дробову репліку в розгорненому вигляді (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер дослідів	Значення факторів в закодованому вигляді			
	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	-	-	+
3	+	+	-	-
4	+	-	+	-

Фактор, позначений «X0» – так називаємо фіктивну змінну – вводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт «b₀».

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

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

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1}$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля;

Y_{oi} – значення параметра оптимізації в i -ом дублі;

Y_o – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число мір свободи ($f_1 = n - 1$).

Для визначення дисперсії дослідів було організовано досліди 5-7 на основному рівні. При цьому набуто наступного значення параметра оптимізації:

дослід 5 – 0,657 рад; дослід 6 – 0,663 рад; дослід 7 – 0,659 рад .

Визначаємо S_y^2 . Складаємо розрахункову таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахункова таблиця дисперсії дослідів

Дослід	y_e$	|y_{oe} - y_o|$	Δy_e^2
5	0,6572	0,0002	0,00000004
6	0,6576	0,0002	0,00000004
7	0,6573	0,0001	0,00000001
-	$y_o = 0,6574$		$\sum \Delta y = 0,00000009$

Тоді

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} = \frac{0,000000009}{3-1} = 0,0000000045$$

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

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (29)$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії;

X_{jn} – значення j -го чинника в n -ом досвіді в кодованому вигляді;

Y_n – значення параметра оптимізації в n -ом досвіді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті одержують модель, яка має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j \quad (30)$$

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4
Результат	0,672	0,762	0,679	0,759

По формулі (30) розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = 1/4 \cdot [0,672 + 0,762 + 0,679 + 0,759] = 0,71;$$

$$b_1 = 1/4 \cdot [0,672 - 0,762 + 0,679 - 0,759] = -0,0425 ;$$

$$b_2 = 1/4 \cdot [0,672 - 0,762 - 0,679 + 0,759] = -0,0025 ;$$

$$b_3 = 1/4 \cdot [0,672 + 0,762 - 0,679 - 0,759] = -0,001 ;$$

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$y = 0,71 - 0,0425 \cdot X_1 - 0,0025 \cdot X_2 - 0,001 \cdot X_3$$

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

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значущість коефіцієнтів регресії. У статистиці прийнято здійснювати перевірку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стюдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів:

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

де S_{b_i} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії.

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (31)$$

t_{D, f_1} – значення критерію Стюдента, яке вибирається залежно від рівня значущості D і числа мір свободи при визначенні дисперсії досліджуваного об'єкту f_1 .

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

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

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

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{0,000000045}{4}} = \pm 0,0000106$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ $\alpha = 0,05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Стюдента, рівне 4,3 [2]. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,0000106 = \pm 0,00004558.$$

Таким чином у всіх випадках, в одержаних рівняннях коефіцієнти виявилися статично значущими, і рівняння набувають остаточно наступного вигляду:

$$y = 0,71 - 0,0325 \cdot X_1 - 0,0035 \cdot X_2 - 0,001 \cdot X_3;$$

Тепер перевіряємо адекватність одержаних моделей в цілому. Для цього підставляємо в одержане рівняння послідовно для всіх дослідів значення « X_i » в кодованому вигляді, які беремо з таблиці 5. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 8. Таблиця 8 складаємо виходячи з алгоритму перевірки одержаного рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкту дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По одержаній моделі визначають по черзі для всіх дослідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації ($y_{расч}$). Для цього в рівняння підставляємо значення чинників в кодованому вигляді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{расч})^2}{f_2} \quad (32)$$

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

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним, яке вибирають з таблиці в роботі [2] залежно від рівня значущості D і числа мір свободи f_1, f_2 .

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} \quad (33)$$

Таблиця 3.6 - Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		|Δy|	Δy^2
	Експеримент	Розрахунок		
1	0,672	0,664	0,008	0,000064
2	0,762	0,754	0,008	0,000064
3	0,679	0,671	0,008	0,000064
4	0,759	0,751	0,008	0,000064
				$\Sigma = 0,000256$

$$S_{неад}^2 = \frac{0,000256}{4 - 3} = 0,000256 ; \quad F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{0,000256}{0,000000045} = 5,688 ;$$

З таблиці [5 для $D = 0,05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 1$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 10,3. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{расч} < F^{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна алюмінієвих сплавів залежно від умов термообробки. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес термообробки сплавів тільки у вивчених межах варіювання факторів.

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

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника X_2 і X_3 в кодованому вигляді (із знаком « \leftarrow »). Потім в перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення чинника X_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто -1 ; 0 ; $+1$ і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність кута D від оптимальних співвідношень діаметрів D_1/D_2 (чинник X_1) для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 0,71 - 0,0425 \cdot X_1;$$

Визначимо y для випадків, коли $X_1 = -1$; 0 ; $+1$. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення y , рівні:

$$y_1 = 0,7525,$$

$$y_2 = 0,71,$$

$$y_3 = 0,6675.$$

Аналогічно представимо графічну залежність кута D від оптимальних співвідношень діаметрів D_2/D_3 (чинник X_2) для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 0,71 - 0,0025 \cdot X_2.$$

Визначимо y для випадків, коли $X_2 = -1$; 0 ; $+1$. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення y , рівні:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0,7125, \\ y_2 &= 0,71, \\ y_3 &= 0,7075.\end{aligned}$$

Аналогічно представимо графічну залежність кута D від оптимальних співвідношень діаметрів D_3/D_4 (чинник X_3) для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 0,71 - 0,001 \cdot X_3.$$

Визначимо y для випадків, коли $X_3 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення y , рівні:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0,711, \\ y_2 &= 0,71, \\ y_3 &= 0,709.\end{aligned}$$

Будуємо одержані графічні залежності. (див. рис. 3.5-3.7).

Результати дослідження і їх аналіз

Одержані рекомендації по вибору кутів і співвідношень діаметрів валків і опорних роликів з урахуванням діапазону зміни останніх через безрозмірність значень K_1, K_2 і K_3 справедливі для всіх 20-валкових станів.

Отримані результати показують, що максимальна жорсткість досягається при мінімально допустимому значенні кута α .

Таким чином, оптимальної, з погляду максимальної жорсткості, слід рахувати компоновання валкової піраміди з мінімально допустимим значенням кута α і співвідношеннями діаметрів контактуючих валків і опорних роликів.

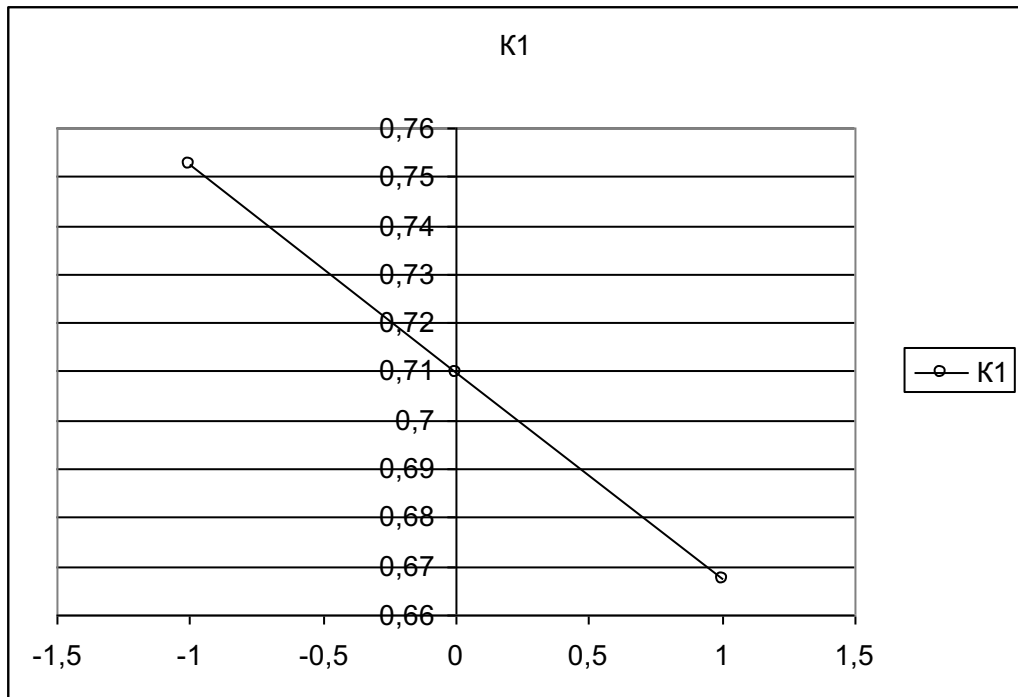


Рисунок 3.5 - Графік залежності кута α від оптимальних співвідношень діаметрів D_1/D_2

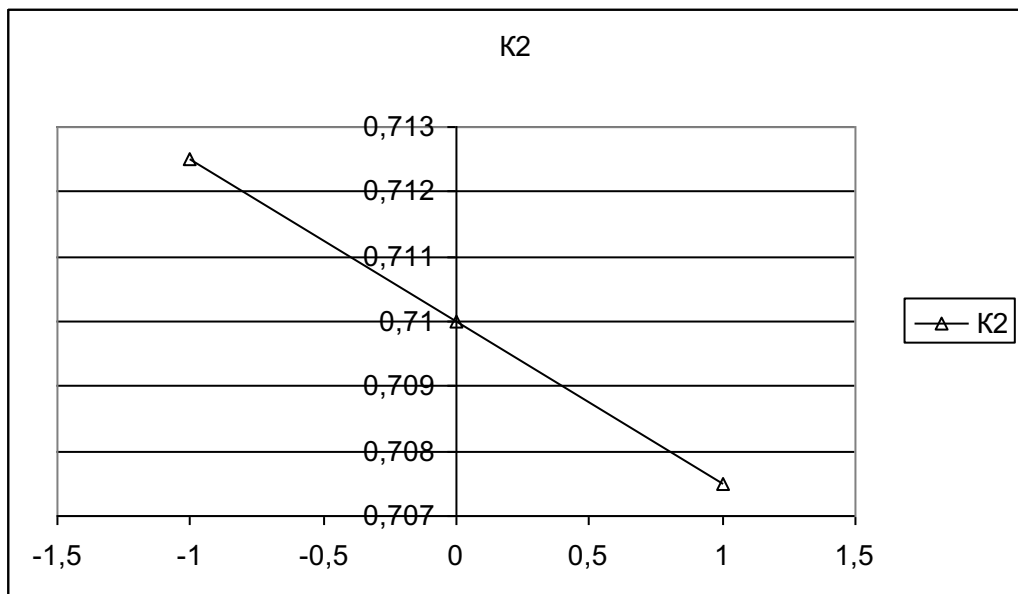


Рисунок 3.6 - Графік залежності кута α від оптимальних співвідношень діаметрів D_2/D_3

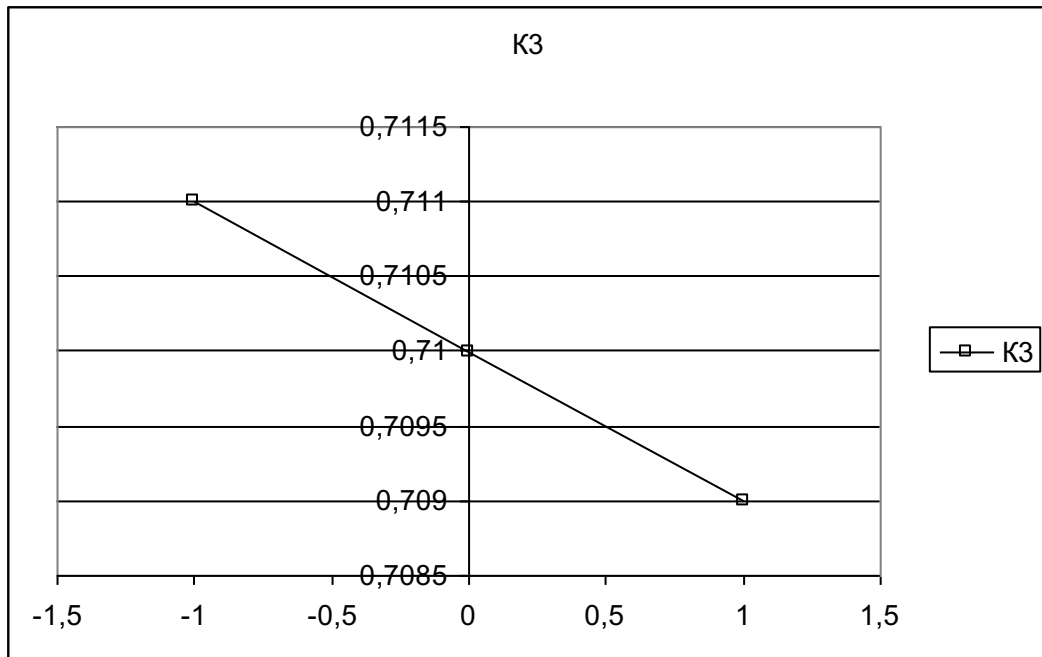


Рисунок 3.7 - Графік залежності кута α від оптимальних співвідношень діаметрів D_3/D_4

3.9 Визначення основних параметрів для побудови номограми для підбору комплекту валків 20-ти валкового стану

При побудові номограми для підбору комплекту багатовалкового стану необхідно визначити координати центрів робочих та проміжних валків та діаметр робочого валка в залежності від діаметрів проміжних валків, опорних роликів та розміщення осей з опорними роликами. Для розв'язку цієї задачі в загальному випадку приймаємо відомими координатами центрів O_6 і O_5 опорних роликів $(a_6 ; b_6)$ і $(a_5 ; b_5)$, а також радіус опорних роликів R_6 і R_5 , причому $R_6 = R_5$ і проміжних опорних валків R_3, R_4, R_2 .

$$a_5 = 200,025 \text{ мм}$$

$$a_6 = 553,24 \text{ мм}$$

$$b_5 = 594,52 \text{ мм}$$

$$b_6 = 343,69 \text{ мм}$$

$$R_2 = 77 \text{ мм}$$

$$R_3 = 120 \text{ мм}$$

$$R_4 = 115 \text{ мм}$$

$$R_6 = R_5 = 203,2 \text{ мм}$$

$$a_3 = \frac{\frac{553 - 200}{594 - 343} \cdot \frac{200^2 + 594^2 - 553^2 - 343^2}{2(594 - 343)} - \frac{b_6(553 - 200)}{594 - 343} - 553}{1 + \left(\frac{553 - 200}{594 - 343}\right)^2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{\left(\frac{553 - 200}{594 - 343} \cdot \frac{200^2 + 594^2 - 553^2 - 343^2}{2(594 - 343)} - \frac{343(553 - 200)}{594 - 343} - 553\right)^2}{1 + \left(\frac{553 - 200}{594 - 343}\right)^2}}$$

$$- \frac{553^2 + 343^2 - 686^2 \cdot \frac{200^2 + 594^2 - 553^2 - 343^2}{2(594 - 343)}}{1 + \left(\frac{553 - 200}{594 - 343}\right)^2} +$$

$$+ \frac{\left(\frac{200^2 + 594^2 - 553^2 - 343^2}{2(594 - 343)}\right)^2 - (120 + 203)^2}{1 + \left(\frac{553 - 200}{594 - 343}\right)^2} = 275 \text{ мм}$$

$$b_3 = \frac{553 - 200}{594 - 343} \cdot 275,7 + \frac{200^2 + 594^2 - 553^2 - 343^2}{2(594 - 343)} = 327,7 \text{ мм}$$

Координати центру O_4 другого проміжного приводного валка:

$$a_4 = 0; \quad b_4 = b_5 - \sqrt{(R_4 + R_5)^2 - a_5^2};$$

$$b_4 = 594 - \sqrt{(115 + 203)^2 - 200^2} = 347 \text{ мм};$$

Координати центру O_2 другого проміжного приводного валка:

$$a_2 = \frac{(347 - 327)^2 \cdot [327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2] - 2 \cdot 347 \cdot 275^2 (347 - 327)}{2 \cdot 275 [275^2 + (347 - 327)^2]} -$$

$$- \sqrt{\frac{(347 - 327) \cdot [327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2] - 2 \cdot 347 \cdot 275^2}{4 [275^2 + (347 - 327)^2]} (347 - 327)^2} -$$

$$- \frac{(347 - 327)^2 \cdot 4 \cdot 275^2 [347^2 - (115 + 77)^2] + [327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2]^2}{4 \cdot 275^2 [275^2 + (347 - 327)^2]} +$$

$$+ \frac{327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2}{2 \cdot 275} = 58 \text{ мм};$$

$$b_2 = \frac{(347 - 327) \cdot [327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2] - 2 \cdot 347 \cdot 275^2}{2 [275^2 + (347 - 327)^2]} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{\{(347 - 327) \cdot [327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2] - 2 \cdot 347 \cdot 275^2\}^2}{4 [275^2 + (347 - 327)^2]^2} -$$

$$- \frac{4 \cdot 275^2 [347^2 - (115 + 77)^2] + [327^2 + 275^2 - (77 + 120)^2 - 347^2 + (115 + 77)^2]^2}{4 [275^2 + (347 - 327)^2]^2}} = 310 \text{ мм}$$

Радіус робочого валка:

$$R = \frac{b_2^2 + a_2^2 - R_2^2}{2(b_2 + R_2)}$$

$$R = \frac{310^2 + 58^2 - 77^2}{2(310 + 77)}$$

На основі отриманих даних будемо номограму визначення діаметрів проміжних валків на 20-ти валковому стані (рис. 3.7).

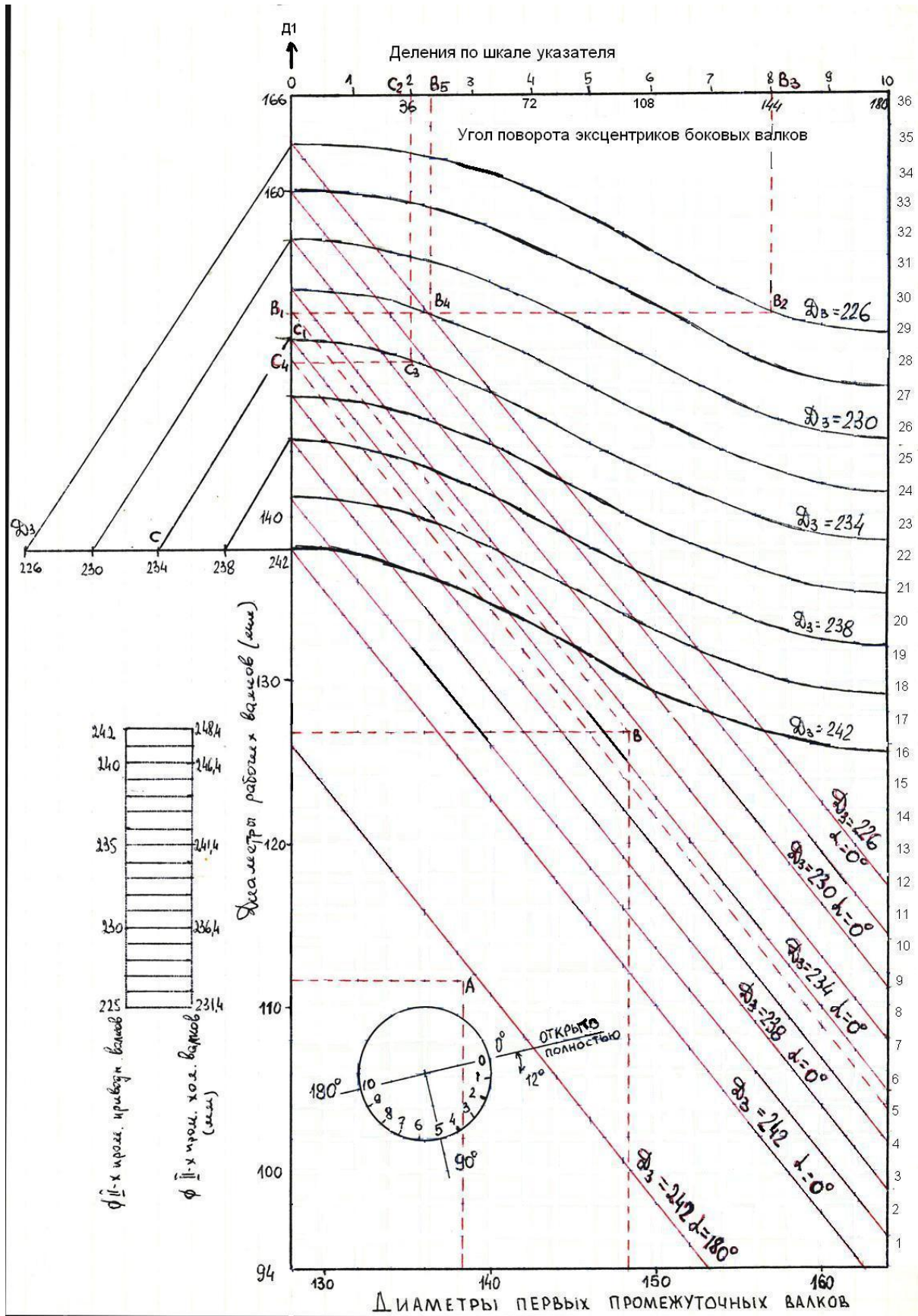


Рисунок 3.7 – Номограма для підбору комплекту валків 20-ти валкового стану

3.10 Аналіз і узагальнення розглянутого матеріалу

Наведені результати розрахунку h_{min} на математичній моделі процесу прокатки тонких штаб при досить точному врахуванні пружних деформацій валків та штаби.

Під мінімальною в цьому випадку розуміють товщину штаби, для якої крива пластичності перетворюється на вертикальну пряму. Починаючи з цієї товщини пластична деформація металу при даних умовах неможлива.

З порівняльного аналізу видно, що по відомим формулам для визначення h_{min} отримуються значення, які можуть відрізнятися на порядок та вище.

Враховуючи те, що на багато валкових станах переважно прокатуються тонкі штаби та стрічки з високоміцних сталей та сплавів, при визначенні мінімальної товщини стрічки доцільно враховувати її пружні деформації.

Проблема визначення h_{min} для багато валкових станів є досить складною задачею, так як зіткнення валків, що спостерігаються на краях бочки вимагають детального розрахунку пружних деформацій валків як в подовжньому, так і в поперечному напрямках прокатування. Для наближеного розрахунку пружних деформацій можна використовувати формули, наведені в табл.1, наприклад, формулу Форда-Александера [56], що враховує пружне відновлення штаби.

Довжину бочки робочого валка обирають в залежності від максимальної ширини стрічки, що прокатується з виразу $L = V_{max} + a$, де a – величина, що обирається в залежності від ширини стрічки ($a = 50 \div 200$ мм).

При виборі довжини бочки робочих та проміжних валків багато валкових станів необхідно враховувати довжину бочки привідних валків. З точки зору можливості передачі крутячих моментів від двигунів кліті.

Діаметри робочих валків існуючих 20-валкових станів знаходяться в межах 3 – 160 мм; проміжних валків – в межах 5 – 250 мм, опорних роликів – в межах 10 – 400 мм.

Довжина бочки валків в залежності від призначення стану знаходиться в межах від 60 до 1700, а в окремих клітках – до 2000 мм та вище.

До робочих валків багатовалкових станів висувають вимоги, аналогічні вимогам, що висуваються до валків станів холодної прокатки : висока та рівномірна твердість після загартування, яка повинна забезпечувати високу якість поверхні штаби, підвищувати зносостійкість; певна глибина активного шару, яка має бути не менше 3% радіусу валка; високий опір термічної втомленості при об'ємному та локальному розігріванні; висока зносостійкість загартованого поверхневого шару бочки; стійкість проти утворення поверхневих дефектів : тріщин, відшарувань, відколів, викрошків, лущень та ін.

До проміжних валків багато валкових станів висуваються ті ж вимоги, що і до робочих. Це впливає із специфіки валкових вузлів станів такого типу, коли робочі та проміжні валки, з точки зору експлуатації, технології їх виготовлення та розмірів, відрізняються не сильно.

Твердість поверхні бочки валків є найважливішим фактором, що визначає тривалість роботи валків холодної прокатки. Твердість за Шором бочки робочих валків 20-валкових станів, як правило, повинна знаходитись в межах 85 – 95 од. (HRC 60 - 65), твердість за Шором бочок проміжних валків 75 – 90 од. (HRC 58 - 63).

Глибина активного загартованого шару бочки валків в залежності від його діаметру знаходиться в межах 2 – 10 мм.

Таким чином, раціональні технічні умови, що забезпечують виконання основних вимог, що висуваються до робочих та проміжних валків, визначаються правильним вибором твердості, шорохуватості поверхні та глибиною активного загартованого шару.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально-економічних, гігієнічних, технічних і організаційних заходів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатність людини в процесі роботи.

Цілком безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Задача охорони праці - звести до мінімуму вірогідність або ураження захворюванням робітника з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності роботи. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих факторів.

Поліпшення умов праці, підвищення її безпеки впливають на результати виробництва – на продуктивність роботи, якість та собівартість продукції, яка випускається. Питання поліпшення умов праці - одна з найважливіших задач, поставлених часом. В Україні велике значення відводиться питанням охорони праці. Вона служить для створення оптимальних умов праці, які забезпечують людині необхідний комфорт, зберігають здоров'я і працездатність. Однією з вимог конкурентної здатності промислового виробництва є економічно обгрунтований перехід від ручної роботи до машинного, забезпеченню здорових санітарно-гігієнічних умов та впровадженню сучасної техніки безпеки, які запобігають промислового травматизму та професійним захворюванням.

У законі України “Про охорону праці” і у Кодексі законів про працю передбачається обов'язкова розробка безпечних і нешкідливих умов праці в стадії проектування виробництва. Комітет з нагляду за охороною праці продовжує почату у 1994 році масштабну роботу зі створення в Україні своєї нормативної бази з питань безпеки, гігієни праці виробничого середовища. Одним з найпріоритетніших напрямків у нормовиробничій діяльності певне

забезпечення відповідності національних законодавчих та інших нормативних актів з охорони праці вимогам конвенцій Міжнародної Організації праці, директив Європейського Економічного Співробітництва Незалежних Держав та інших Міжнародних документів. Тому придатними для реалізації можуть вважатися лише такі проекти промислових підприємств, технологічних процесів, енергосистем, окремих установок, станків, агрегатів, апаратів та пристроїв, в яких передбачається усунення небезпечних та шкідливих факторів, виключається можливість травматизму та професійних захворювань.

4.2 Загальні вимоги безпеки для робітників прокатного відділення

Прокатне відділення цеху, його допоміжні агрегати та устаткування спеціалізується на листовій холодній прокатці та відвантажуванні металу споживачу.

Правильна організація та підготовка робочого місця – найважливіша умова для безпечної роботи.

Безпечна робота може бути забезпечена точним виконанням технологічних інструкцій та правил техніки безпеки.

Нові робітники мають пройти медичний огляд по професії, первинний інструктаж на робочому місці.

Інструктаж проводить безпосередній керівник (майстер, начальник відділку, начальник ділянки), назначений розпорядженням по цеху.

Первинний інструктаж проводиться за програмою, складеною керівником цеху в обсязі інструкцій, знання, які для робітників обов'язкові. Після інструктажу інструкції видаються робітнику.

Разом з інструктажем на робочому місці, робітник повинен бути ознайомлений з наступними питаннями:

Загальні відомості про технологічний процес та устаткування на даній виробничій ділянці.

Устрій машин, механізмів, пристроїв, небезпечні зони обладнання, попереджувальні пристрої, огороження, системи блокування, сигналізації.

Засоби індивідуального захисту на даному робочому місці та правила користування ними.

Правильна та безпечна організація та утримання робочого місця.

Порядок підготовки до роботи (перевірка справності) обладнання, пускових приладів, заземлення інструменту.

Безпечні прийоми роботи, застосування яких повинно запобігти робітника від травматизму.

Детальні роз'яснення змісту інструкцій з техніки безпеки.

Способи застосування наявних на ділянці засобів пожежегасіння та сигналізації, місця їх розташування.

З технологічними картами.

З вимогами безпеки в аварійних ситуаціях.

Зі схемою безпечного пересування по території цеха.

Нові робітники прикріплюються до кваліфікованого робітника для практичного навчання безпечним прийомам та методам роботи. Навчання відбувається під керівництвом призначеного за розпорядженням по цеху інженерно-технічного робітника. Тривалість навчання не повинна бути менше 10 змін.

Після закінчення терміну навчання новий робітник повинен пройти перевірку на знання інструкцій з техніки безпеки комісії на чолі з начальником цеху або його замісником та з участю суспільного інспектора охорони праці.

Робітники, які обслуговують об'єкти, підпорядковані Державному місцевому технічному нагляду та енергонагляду повинні пройти спеціальне навчання, показати знання діючих правил Державного місцевого технічного нагляду та енергонагляду, отримати відповідні посвідчення, які дають право обслуговувати відповідні об'єкти.

Всі роботи в прокатному відділенні відносяться до категорії підвищеної небезпеки.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці зі всіма робітниками 1 раз на квартал.

При введенні в дію нових або перероблених нормативних актів з охорон праці, при внесенні в них змін та доповнень, зміні технологічних процесів, модернізації обладнання, а також інших факторів, які впливають на охорону праці, всім робітникам проводиться незапланований інструктаж.

При виконанні разових робіт, безпосередньо не пов'язаних з обов'язками за спеціальністю (завантаження, розвантаження, ліквідація аварій, стихійних лих), проводиться цільовий інструктаж.

Первинний, повторний, позаплановий, цільовий інструктажі завершуються перевіркою знання.

Всі робітники повинні проходити в установленому порядку та терміні медичний огляд.

Робітник в праві відмовитися від отриманої роботи, якщо склалась виробнича ситуація, небезпечна для нього або життя або здоров'я оточуючих людей.

Робітник зобов'язаний :

Знати та виконувати вимоги нормативних актів з про охорону праці, правила використання машин, механізмів, обладнання та інших засобів виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту [53].

Бути уважним до звукових сигналів.

Зберігати в чистоті та порядку своє робоче місце.

Ходити по цеху тільки по встановлених проходах.

Виконувати правила, вказані в попереджувальних надписах.

Дотримуватися всіх правил протипожежної безпеки.

На допускати сторонніх осіб на своє робоче місце.

Слідкувати, щоб всі люки були закриті.

На допускати наявності мастила на підлозі.

Повідомити адміністрацію про наявність небезпеки, яка може викликати нещасний випадок з людьми або аварію.

Не вмикати який-небудь механізм в той час, коли на панелі управління повішені плакати “Не вмикати, працюють люди”.

Звертатися до медпункту для надання допомоги при наявності навіть невеликої травми, попередивши попередньо майстра або його бригадира. Робітник повинен вміти надати першу медичну допомогу потерпілим при травмуванні або раптовому захворюванні. Застосувати кроки з виклику медичних робітників та повідомлення майстра.

Способи надання першої медичної допомоги у тому числі накладання джгута, перев’язки, штучне дихання повинні бути показані всім робітникам на первинних та повторних інструктажах з техніки безпеки.

Кожен робітник зобов’язаний дотримуватись правил особистої гігієни та виробничої санітарії, стежити за своїм зовнішнім виглядом та станом спецодягу. Сильно забруднений спецодяг повинен своєчасно здаватися на прання.

Не припускаються порушення внутрішнього трудового розпорядку на комбінаті,

Робітнику забороняється:

Виконувати роботу, яка не входить до кола обов’язків і виконання якої не доручена майстром.

Знаходитися в місцях, де він не приймає участі у виробничому процесі.

Передавати роботу іншим робітникам без дозволу майстра.

Відкривати огороження та кожухи механізмів.

Торкатися електропроводів, рубильників, та електродвигунів.

Виконувати роботу під висячим вантажем ти в місцях, де нема габаритів та освітлення.

Підніматися на рольганг, що обертається та транспортер, ставати на лінійки, які центрують, та листи металу, які рухаються, заходити в зону роботи розкладників листів при несправному чи не ввімкненому блокуванні.

Переходити шлях трансфера, що рухається.

Знаходитись під вантажем, що піднімається.

Працювати на механізмах, які не мають огороження частин, що обертаються.

Чистити на ходу та доторкатися до ролика, обертається, валків, барабанів.

Робити які-небудь роботи на штабелях або рулонах.

Заходити за огороження частин механізмів, які рухаються.

За порушення законодавчих та інших нормативних актів з охорони роботи винні робітники притягуються до дисциплінарній, адміністративній, матеріальній та кримінальній відповідальності згідно з законодавством.

4.3 Вимоги безпеки для вальцювальників стану 1700

Вальцювальники стану 1700 – комплексна бригада, яка здійснює технологічний процес листової прокатки та дресування металу.

Всі вальцовщики повинні бути взаємозамінні та навчені роботі на всіх посадах управління стану, а також по професії стропальника та мати відповідні посвідчення.

Керівником бригади вальцовщиків є вальцовщик вищого розряду, щозначається старшим майстром прокатного відділку. На нього розповсюджуються всі обов'язки по “Положення про виробничу бригаду та бригадира”.

Вальцовщик повинен добре знати та строго виконувати наступні інструкції з техніки безпеки:

Загальну інструкцію БТІ 0-01 для робітників та службовців комбінату.

Інструкцію для підкранових робітників БТІ 0-12.

Інструкцію з безпечного обслуговування газового господарства цехів БТИ-20.

Інструкцію з застосування бірочної системи БТІ 0-07.

Інструкцію з техніки безпеки для осіб з 1 кваліфікаційною групою, які обслуговують електротехнічні установки та електрифіковані механізми агрегату БТІ 0.30.

Інструкцію для роботи з абразивними інструментами БТІ 0.09.

Інструкцію для слюсарів з ремонту обладнання БТІ 0.03.

Відповідну дійсності інструкцію.

4.4 Вимоги безпеки під час роботи

Перед пуском стану впевнитись, що пуск нікому не загрожує, дати звуковий сигнал, зробити паузу і тільки після цього вмикати механізми станів.

Робота на всіх посадах стану вимагає чіткої узгодженості, підвищеної уваги, тому забороняється під час роботи відволікатися на розмови із сторонніми людьми, залишати навіть на короткий час без догляду свої робочі місця, займатися сторонніми справами.

Забороняється розведення багаття та куріння під час роботи на всіх посадах.

При розкладі листів металу з аеродинамічного розкладальника вальцовщик зобов'язаний слідкувати, щоб одночасно не подати на рольганг два листи.

Якщо це все-таки сталося, вальцовщик пульта керування аеродинамічним розкладальником повинен зупинити рольганг №1, дати звуковий сигнал вальцовщику на подачі листів, який зобов'язаний одразу зупинити всі рольганги та кліті, покликати на допомогу інших членів бригади. Роз'єднання листів слід робити узгоджено обережними діями за допомогою спеціального гачка.

Забороняється знаходитися на рольгангу між листами та розбавленими пневмонічними лініями, які центрують, навіть при зупиненому рольгангу.

Під час роботи забороняється підніматися на рольганг, ставати на листи та лінії, які центрують.

При встановлення пачки металу на кантователь за допомогою електромостового крану, забороняється висмикувати стропи або строп-ланцюги з-під пачки краном.

Пачку металу необхідно класти на дерев'яні бруски перетином не менше 80 x 80 та вантажезахватні пристрої виводити з торців пачки.

При розкладанні листів з кантова теля необхідно користуватися присоскою або спеціальним гачком. Нахил пачки повинен бути таким, щоб виключити невимушене падіння листів.

При захваті присоскою або гачком чергового листа зусилля необхідно прикладати поступово, уникаючи навантажень на ноги та корпус, з метою уникнення втрати рівноваги при зриванні крючка з листа.

При кантовці листів на рольганг з кантователем вальцовщик зобов'язаний знаходитись на спеціальній площадці над першим рольгангом на безпечній відстані від пачки металу, так як при кантовці листа він може підпросити ввєрх чи в сторону вальцовщика слїдуючий за ним лист металу.

У випадку, якщо після прокатки лист загнеться ввєрх та буде неможлива його задача в листоправильну машину, необхідно зупинити груповий рольганг за кліттю, листоправильну машину, за допомогою соціального блокування виключити, рольганг перед кліттю та, дотримуючись обережності за допомогою спеціального гачка, розвернути на рольгангах №4, 5 лист на 180°.

При прокатці або дресуванні довгого (більше 3000 мм) та товстого (більше 5 мм) металу забороняється вальцовщику знаходитися на площадці для регулювання теплового режиму робочих валків.

Всі операції з контролю якісних характеристик металу необхідно проводити на зупиненому рольгангу, листоправильній машині та блокуванням групових рольгангів до кліті.

Під час роботи забороняється заходити на привідну сторону всіх механізмів. Огляд шпинделів головного приводу, шпинделів листоправильної машини та інших механізмів необхідно робити тільки при повній їх зупинці, згідно з вимогами інструкції з використання бірочної системи.

При технологічній необхідності зачистки наварів на робочих валках, цю операцію слід робити в наступній послідовності :

- а) зупинити головний привід стану та затушити всі газові горілки;
- б) зупинити всі рольганги до та після кліті, впевнитися при цьому, що на роликах станини перед кліттю немає листа і подача емульсії зупинена;
- в) за допомогою блокування “заборона” вимкнути групові рольганги до кліті та після;
- г) зачистку валків здійснювати зі сторони виходу листів під керівництвом старшого вальцовщика, при цьому пуск головного приводу робити невеликими поштовхами.

Зачистку роликів листоправильної машини слід робити спеціальними засобами, які представляють собою металевий лист, оббитий войлоком та обтягнутий шліфувальною штабою або машинкою з войлочним кругом в окулярах під керівництвом вальцовщика.

Замір товщини листів ручним мікрометром слід робити в наступному порядку:

- а) за допомогою блокування зупинити рольганги до кліті;
- б) після невеликої паузи зупинити рольганги № 3, 4 за кліттю та листоправильну машину;
- в) вимірювання листів робити тільки після повної зупинки рольгангів.

Замір довжини листів робиться тільки при повній зупинці з'ємного рольганга, рольганга № 6 та листоправильної машини.

Про чистка сопел емульсійного колектора робиться при повній зупинці всіх рольгангів до кліті та головного приводу стану.

Розкурювання листів в будь-якому місці стану слід робити при повній зупинці рольгангів та інших механізмів в районі буряжки з використанням спеціальних гачків.

Негайно зупиняти механізми стану: при будь-яких неполадках в роботі, з вимоги механіків або електриків.

Суворо дотримуватись правил газової безпеки : газова контрольна свіча повинна горіти постійно, вентиляції непрацюючих горілок мають бути щільно закриті, утічка газу через нещільність запірної арматури не допускається.

Після перерви подачі газу необхідно впевнитись в наявності тиску газу в газопроводі, продути протягом однієї хвилини газопровід через контрольну свічку, запалити її, потім запалити горілки. Розпалення газових горілок та свічки робити спеціальним факелом довжиною не менше 1-го метра.

При припиненні горіння контрольної свічі необхідно одразу закрити вентиляції газу на горілці.

Викид листа з рольгангу на інспекторський стіл виробляється двома вальцовщиками спеціальним гачком в присутності вальцовщика на посту управління листопрямуючої машини.

Примусове задання листів “на кут” здійснюється вальцовщиком за допомогою спеціального гачка або бруска, при цьому вальцовщик повинен знаходитись на спеціально обгородженій площадці над рольгангом перед кліткою.

4.5 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

Рятувальні та невідкладні аварійно – відновлювальні роботи (РНАВР) в джерелах ядерного, хімічного, бактеріологічного (біологічного) та комбінованого ураження будуть проводитися у складній обстановці, в умовах повних та сильних руйнувань, суцільних завалів, пожеж, заражень атмосфери та місцевості та можливого затоплення.

Зміст рятувальних робіт:

- ведення пошуку маршрутів, формування ділянок (об’єктів) та робіт;
- локалізація та гасіння пожеж на ділянках проведення робіт та на шляхах виходу до них;
- пошук уражених людей та звільнення їх із завалів, пошкоджених та палаючих будинків, загазованих та задимлених приміщень;

- рятування людей, що знаходяться у завалених захисних спорудах.

Зміст невідкладних аварійно-відновлюваних робіт:

- прокладення колонних шляхів на налагодження проїздів в завалах та на заражених ділянках;
- локалізація аварій на газових, енергетичних та інших сітках;
- укріплення пошкоджених конструкцій будинків та споруд, які загрожують обвалом, які заважають безпечному руху та проведенню рятувальних робіт;
- відновлення та ремонт пошкоджених захисних споруд для захисту людей від можливих катастроф.

Успішне проведення рятувальних та ремонтно-відновлювальних робіт досягається:

- своєчасною організацією на неперервним веденням пошуку
- створенням групи сил та засобів, швидким їх рухом на ділянку робіт
- морально психологічною та політичною підготовкою особистого складу органів керування та формувань
- активною участю населення в проведенні рятувальних робіт та вмінням надавати першу медичну допомогу ураженим
- вмілим керівництвом з боку начальників ЦО, діяльності робітників при організації та проведенні РНАВР
- організацією та підтримкою безперервної взаємодії органів керування, формувань та інших сил та засобів, залучених до рятувальних та невідкладних аварійно-відновлюваних робіт.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження можна сформулювати наступні загальні результати, досягнуті в дійсній роботі:

Застосування робочих валків порівняно великих діаметрів та спеціально розточених для цієї мети станини, обумовлено обмеженнями, накладеними ліцензією американської фірми “Сендзимир”, привело до цілого ряду небажаних наслідків, особливо при прокатці неіржавіючих сталей:

- 1) високе зусилля деформації;
- 2) витісняюча з високих тисків абсолютно незвичайна для двадцятивалкових станів профіліровка валів з дуже великими опуклостями;
- 3) велика нерівномірність розподілу тисків на опорні підшипники через збільшену опуклість валків;
- 4) великі осьові зусилля на I-х проміжних валках, що є функцією великих зусиль деформації та опуклостей;
- 5) низька стійкість підшипникових вузлів I-х проміжних валків, обумовлена, окрім великих осьових зусиль, обмеженням їх габариту, так як діаметр підшипникового вузла повинен бути дещо менше (на 1 мм) мінімального діаметру бочки валка.

Перелічені основні недоліки приводять до незначного зменшення технічних можливостей і техніко-економічних показників стану, відображаючись також і на якості продукції.

Проведеним дослідом встановлено, що можливо значне зменшення діаметру робочого валка – до 93 мм – при збереженні існуючої станини стану “1728”, що знайшло відображення у номограмі. Такий мінімальний діаметр може бути застосований з наступними поєднаннями проміжних валків

I-і проміжні валки	162 мм;
II-і проміжні приводні	242 мм;
II-і проміжні холості	255 мм.

Подальше зменшення діаметру робочих валків неможливо з умови стійкості піраміди валків (через зниження величини зусилля, що стримує від випадіння з піраміди I-го проміжного валка, нижче припустимого рівня).

Наявний зарубіжний досвід, а також досвід експлуатації 20-ти валкового стану 1700 показує, що зменшення діаметру робочих валків в процесі експлуатації рідко перевищує 20 мм, тому запропоновано використовувати робочі валки у діапазоні 93 – 115 мм. Установлення максимального діаметру валків важливо не лише для їх виготовлення за замовленнями, але і для визначення розмірів всіх проміжних валків.

З номограми випливає, що діапазони зміни діаметру проміжних валків наступні :

I-і проміжні валки	146 - 162 мм;
II-і проміжні приводні	226 - 246 мм;
II-і проміжні холості	244 - 255 мм.

Зміни мінімального діаметру I-х проміжних валків з 128 до 146 мм дозволяє відповідно збільшити діаметр підшипникового вузла з 127 до 144 мм, тобто, застосувати набагато стійкіші підшипники.

Застосування робочих валків з діаметрами в запропонованому діапазоні ефективно з наступних показників:

1. Збільшення продуктивності за рахунок зменшення числа проходів за скорочення часу на перевалки;
2. Покращення геометрії та точності прокату по довжині та ширині;
3. Здешевлення вартості валків та підготовки їх до роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Серода Б.П. Обробка металів тиском : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 243 с.
2. Серода Б.П. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов. /Учеб. Пособ. В 2-х книгах. Запорожье. Изд-во ЗГИА, 2001. 375 с.
3. Термическая обработка. Учебное пособие для студентов ЗГИА / Сост. Серода Б.П. Запорожье: ЗГИА, 2003. 270 с.
4. Серода Б.П. Металловедения и термическая обработка черных и цветных металлов. Учебн. пос. Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2002. 264 с.
5. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва : методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів ЗДІА спеціальності “ОМТ” денної та заочної форм навчання / Укл.: Б.П.Серода, І.В.Кругляк. Запоріжжя, 2004. 82 с.
6. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва : методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 “ОМТ” денної та заочної форм навчання / Укл.: Б.П.Серода, М.Г.Прищип. Запоріжжя, 2004. 42 с.
7. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Термічна обробка металів і спавів” для студентів спеціальності 6.090404 “Обробка металів тиском” / Укл. Б.П.Серода, І.В.Палехова, І.В.Кругляк. Запоріжжя: ЗДІА, 2001. 28 с.
8. Божков А. И., Настич В. П. Плоскостность тонколистового проката. – М.: «СП. ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. 264 с.
9. Будакова А. А., Коновалов Ю. В., Ткалич К. Н. Профилирование валков листовых станов. Киев : Техника, 1986. 190 с.
10. Васильев Я. Д. Обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. ДМетИ. Москва : Металлургия, 1980. Вып. 60. С. 35-38.

11.Васильев Я. Д., Григоренко В. У., Данченко В. Н. Научные основы эффективных технологий производства тонкостенной длинномерной металлопродукции. Днепропетровск: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. 353 с.

12.Васильев Я. Д., Дементиенко А. В. и др. Совершенствование технологии производства тонких холоднокатаных полос с улучшенной плоскостностью. *Металлург. и горноруд. пром-сть*. 2004. № 5. С. 28-32.

13.Васильев Я. Д., Дементиенко А. В. Исследование точности поперечного профиля горячекатаного подката. *Производство проката*. 2002. № 8. С. 16-21.

14.Васильев Я. Д., Дементиенко А. В. Условия (критерии) плоскостности при прокатке полос и листов. *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2003. № 9. С. 30-34.

15.Васильев Я. Д., Сафьян А. М. Производство полосовой и листовой стали. Киев : Вища школа, 1976. 192 с.

16.Выдрин В. Н. Теория и технология прокатки: Сб. науч. тр. ЧПИ. – Челябинск: Южно-Уральское изд., 1972. Вып. 102. С. 193-207.

17.Гостев К.А. Основные направления повышения качества листовой прокатки и современные требования к валкам. *Сталь*. 2002. №2. С. 52-55.

18.Даниэли. Новая клеть для полубесконечной прокатки. *Сталь*. 2000. №10. С. 71-73.

19.Железнов Ю. Д. Прокатка ровных полос и листов. Москва : Металлургия, 1971. 200 с.

20.Железнов Ю.Д., Коцарь С.Л. Статические исследования точности тонколистовой прокатки. Москва : Металлургия, 1974. 240 с.

21.Комановский А. З. Листопрокатное производство (справочник). Москва : Металлургия, 1979. 280 с.

22.Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л. и др. Расчет параметров листовой прокатки: справочник. Москва : Металлургия, 1986. 430 с.

23.Лямбах Р.В., Шишкинский В.И. Автоматизация технологических процессов холодной прокатки листов. Москва : Металлургия, 1981. 264 с.

- 24.Мазур В. Л., Сафьян А. М., Приходько И. Ю. и др. Управлением качеством тонколистового проката. Киев : Техника, 1997. 384 с.
- 25.Робертс В. Холодная прокатка стали / Пер. с англ. Москва : Металлургия, 1982. 544 с.
- 26.Рокотян С. Е. Теория прокатки и качество металла. Москва : Металлургия, 1981. 224 с.
- 27.Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. и др. Теория прокатки: справочник. Москва : Металлургия, 1982. 335 с.
- 28.Чекмарев А.П., Ольдзиевский С.А. Методы исследования процессов прокатки. Москва : Металлургия, 1969. 294 с.
- 29.Шаталов Р.Л. Управление показателями качества и деформируемостью полос при прокатке. *Сталь*. 2003. №9. С. 31-34.
30. Косинський В.В., Васильєв О.Г., Белоконь Ю.А. Дослідження та вдосконалення процесів ОМТ. Запоріжжя: ЗДІА. 2006. 96 с.
- 31.Обработка цветных металлов и сплавов. Учебное пособие. Запорожье: ЗГИА, 2000. 215 с.
- 32.Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. Москва : Металлургия, 1978. 568 с.
- 33.Гуляев А.П. Металловедение. 5-е издание. Москва : Металлургия, 1977. – 664 с.
- 34.Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Москва : Металлургия, 1979. 320 с.
- 35.Манцев В.Н., Комаров Л.Г., Ланцова Л.П. Предотвращение крупнокристаллической структуры при изготовлении обшивок двойной кривизны. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1999. №6. С. 7-13.
- 36.Нестеренко А.М., Левченко Г.В. Вплив термічної обробки на структуру і механічні властивості листових низьколегованих сталей. *Металознавство та обробка металів*. 2002. №4. С. 18-23.

37.Фридляндер И.Н., Берстенов В.В., Ткаченко Е.А. и др. Влияние термической обработки и деформации на величину зерна и механические свойства сплавов типа дуралюмин. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2003. №7. С. 3-6.

38.Хэтч. Дж.Е. Алюминий. Свойства и физическое металловедение. Москва : Металлургия, 1989. 425 с.

39.Чейлях А.П. К вопросу о термической обработке хромистых сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. №10. 2000. С.18-21

40.Пасичник Н.В., Гесслер Ю.В., Родинков С.В. Исследование влияния величины обжатия за проход на минимальную возможную толщину ленты. *Сталь*. №2. 2003. С.64-68.

41.Степа Ф., Карбони А., Бабич Л. Совершенствование прокатки сверхтонкой полосы. *Сталь*. №11. 2003. С.58-65.

42.Капустин С. Не ржавеет, Украина. *Металл*. №6. 2005. С.40-47.

43.Матвеев Б.Н. Непрерывная отливка тонких полос. *Производство проката*. №4. 2004. С.33-40.

44.Оробцев В.В., Коновалов Ю.В. Расчет комплекса энергосберегающей технологии производства холоднокатанных полос. *Производство проката*. №8. 2003. С.14-18.

45.Агишев Л.А., Никитин В.Д. Прокатка коррозионно стойких сталей на 20-ти валковом стане. *Сталь*. №7. 1994. С.50-53.

46.Пименов А.Ф., Гриднев А.Т. Новая профилировка валков 20-ти валковых станков. *Бюллетень, Черная металлургия*. №7. 1993. С.52-54

47.Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. Изд. Металлургия; Москва. 1967. 231 с.

48.Производство листовой нержавеющей стали. Ксензук Ф.А., Павлищев В.Б., Металлургия, 1975, 2-е изд.. 384 с.

49.Омановский А.З., Троценков Н.А., Мовшович В.С. «Производство легированных холоднокатанных листов». Изд. Металлургия. Москва. 1967. 174 с.

50. Термическая обработка качественной стали на металлургических заводах. Сокол И.Я. Москва : Металлургия, 1986. 160 с.

51. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Belokon' Y.A., Bondarenko Y.V. Productivity optimization of cold rolling mills. Steel in Translation. 2020. 50(5). P. 335-339.

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

53. Штехно О.Н., Могушович О.С. Холодная прокатка полос из нержавеющей стали на реверсивном 20-ти валковом стане. Технологическая инструкция. Запорожье. Облполиграфиздат, 1988. 230 с.

54. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Королев А.А. Изд. Москва : Металлургия, 1969, 464 с.

55. Листопрокатное производство (Справочник). Омановский А.З. Москва : Металлургия, 1979. 280 с.

56. Робертс В.Л. Холодная прокатка стали. Пер. с англ. Москва : Металлургия, 544 с. с ил.

57. Прокатка на многовалковых станах. Полухин П.И., Пименов А.Ф. и др. Москва : Металлургия, 1981. 248 с.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІНОЇ РОБОТИ

За аналогією з іншими роботами представимо штабу у вигляді сукупності окремих поздовжніх перерізів, пружно пов'язаних між собою і підлеглих поза осередком деформації закону Гука. Правомочність подібного підходу підтверджена результатами багатьох робіт.

Наведена схема напружено-деформованого стану довільного поздовжнього перерізу штаби в j -й кліті багатоклітинного прокатного стану.

Зі схеми отримано співвідношення між зазначеними довжинами і товщинами (зроблено припущення, що пружна деформація вздовж осі відсутня – поздовжні перерізи пружно взаємопов'язані).

Список використаних джерел

1. A.V. Yavtushenko, V.M. Protsenko, Yu.A. Belokon and Yu.V. Bondarenko. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.

УДК 621.771.01

Чебанов О.Л., магістрант 2 курсу
Науковий керівник – д.т.н, професор Белоконов Ю.О.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОКАТКИ ВАЛКОВИХ ВУЗЛІВ БАГАТОВАЛКОВИХ СТАНІВ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Робота присвячена вивченню впливу точності прокатки валкових вузлів багатовалкових станів.

Основну роль в забезпеченні точності прокатки на багатовалкових станах грає валковий вузол і його характеристики: жорсткість, точність виготовлення, геометричні параметри валків. Вказані характеристики були розглянуті і проаналізовані в найбільш характерних літературних джерелах.

При дослідженні багатовалкових станів велика увага приділялася вибору робочого валка, що визначає максимальну величину обтиску і мінімальну товщину прокатних стрічок, а також діаметрів приводних валків і опорних роликів, що забезпечують передачу необхідного моменту, що крутить, і максимальне зусилля плющення відповідно.

Метою роботи був аналіз методів визначення мінімальної товщини листів і розробки номограм оптимізації діаметрів валків на багатовалкових станах холодного плющення.

Для вибору діаметру робочого валка багатовалкового стану, що забезпечує раціональний режим плющення в роботі використовувалися методики Стоуна, Тонга, Робертса, Корольова і ін. для визначення мінімальної товщини штаби.

Для вивчення впливу відповідних параметрів валків і опорних роликів на жорсткість валкового вузла в роботі застосовувалося математичне планування експерименту по методу Уїлсона - Боксу.

Результатом роботи стала побудова номограм оптимізації діаметрів валків, рекомендації по отриманню мінімальної товщини штаби.

Список використаних джерел

1. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Belokon' Y.A., Bondarenko Y.V. Productivity optimization of cold rolling mills. *Steel in Translation*. 2020. 50(5). P. 335-339.

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

УДК 669.71

Шелегін А.В., магістрант 2 курсу
Науковий керівник – к.т.н., доцент Нестеренко Т.М.

ПРО ВИПАРЮВАННЯ РОЗЧИНІВ У ГЛИНОЗЕМНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Виробництво глинозему з бокситів за гідрохімічним лужним способом Байєра є замкненим циклом по розчиннику [1]. Актуальним завданням у глиноземному виробництві є зниження витрати теплоти на випарювання зі збереженням глибини випарювання розчинів.

Вода в процес Байєра надходить разом з вологою бокситу, водою, що йде на промивання червоного шламу та гідроксиду алюмінію, у вигляді конденсату гострої пари у разі обігрівання автоклавів гострою парою. Вода з процесу Байєра видаляється з парою самовипаровування під час охолодження автоклавної пульпи; з червоним шламом, що направляють у відвал; з гідроксидом алюмінію, що піддають кальцинації, та під час випарювання. Кількість води, що видаляється за першими трьома напрямками порівняно невелика, тому основну кількість води, що потрапляє в процес, видаляють під час випарювання маточного розчину. За практичними даними визначено, що під час переробки діаспоро-бемітових бокситів за способом Байєра доводиться на 1 т глинозему випаровувати до 7 т води, що необхідна для розбавлення автоклавної пульпи [2]. Значна частина такої води у вигляді барометричного конденсату повертається у процес. Випарювання супроводжується також очищенням розчинів від соди, органічних домішок, гідроалюмосилікату натрію, сульфату натрію та інших солей.

Інтенсифікацію теплообміну у випарних установках з циклонно-плівковими апаратами та падаючою плівкою для випарювання лужно-