

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повна найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)

(другий (магістерський) рівень)

на тему Аналіз технології та режиму
обтиснення на станах холодної прокатки на натяжіння штаби

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Ткаченко Олександр Вікторович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(цифри і назва)

спеціалізація

(цифри і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(цифри і назва)

Керівник к.т.н. доц. Бондаренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

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

Спеціальність 136.металургія
(цифра і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь

" 07 " 05 2023 року

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

Ткаченко Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз технології та режиму обчислення на станах холодної прокатки на натягнення штаби керівник роботи (проекту) Бондаренко Юлія Володимирівна к.т.н. доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце зв'язку)

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

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекту) теоретичне дослідження режимів обчислень тонких штаб на стані холодної прокатки 1680 в умовах МК «Запоріжсталь», виявлення впливу напруження натягу металу на енергосилові параметри .-

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

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата задання завдання прийняв
<u>Розділ 1 Аналітично-пошукова частина</u>	<u>Бондаренко Ю.В., доцент</u>	
<u>Розділ 2 Дослідницька - розробоча частина</u>	<u>Бондаренко Ю.В., доцент</u>	
<u>Розділ 3 Експериментальна частина</u>	<u>Бондаренко Ю.В. доцент</u>	
<u>Розділ 4 Охорона праці та техногенна безпека</u>	<u>Бондаренко Ю.В. доцент</u>	
<u>Нормоконтроль</u>	<u>Бєлокань Ю.О. завідувач кафедри</u>	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Цілі
1	<u>Вступ</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
2	<u>Реферат</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
3	<u>Аналітично-пошукова частина</u>	<u>до 30.06.2023</u>	
4	<u>Дослідницька - розробоча частина</u>	<u>до 19.11.2023</u>	
5	<u>Експериментальна частина</u>	<u>до 26.11.2023</u>	
6	<u>Охорона праці та техногенна безпека</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
7	<u>Висновки</u>	<u>до 30.11.2023</u>	

Студент _____ Ткаченко О.В. _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Ю.В. Бондаренко _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить: 84 , рисунків 15, таблиць 8, джерел посилання 23.

ПРОКАТКА, СОРТАМЕНТ, ПОДКАТ, ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБТИСНЕНЬ, НАТЯГ, ВАЛОК, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, МОДЕЛЬ, КРУТЯЧИЙ МОМЕНТ, НАПРУЖЕННЯ ТЕКУЧОСТІ, РОЗРАХУНОК, РЕЖИМ ДЕФОРМАЦІЇ

Об'єктом розробки є дослідження впливу напруження натягування металу на енергосилові параметри прокатки на неперервному стані холодної прокатки 1680.

Метою випускної роботи є аналіз технологій та режиму обтиснень на стані холодної прокатки з урахуванням показників натягнення штаб.

Метод дослідження – теоретичне дослідження режимів обтиснень тонких штаб на стані холодної прокатки 1680 в умовах МК «Запоріжсталь», виявлення впливу напруження натягу металу на енергосилові параметри .

Результати роботи можуть бути використані в промисловості і стати основою для винаходу і впровадження розробки в технологічний процес для чотириохкільцевої безперервного стану 1680 ОАО " Запоріжсталь", , для збільшення відносної продуктивності і найбільш швидкого задоволення потреб замовника.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналітично пошукова частина.....	8
1.1 Стан проблеми.....	8
1.1.1 Моделі межі текучості та напруження текучості при холодній прокатці.....	9
1.1.2 Визначення крутячого моменту при прокатці з натягненням.....	15
1.1.3 Вплив натягнення (підпора) штаби на величину нейтрального кута.....	18
1.2 Літературний огляд.....	20
1.3 Постановка задачі.....	30
2. Дослідницько - розрахункова частина.....	33
2.1 План проведення теоретичних досліджень.....	33
2.2 Техніка, апаратура, технології, методи розрахунку параметрів....	43
2.3 Методика експерименту та визначення параметрів процесу.....	49
2.4 Обробка та обговорення результатів досліджень.....	55
2.5 Пропозиції та заходи щодо вдосконалення процесу, технологій, обладнання.....	58
3. Експериментальна частина	61
4. Охорона праці.....	71
4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	71
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	74
4.3 Заходи з електробезпеки.....	76

4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки.....	77
4.5 Розрахунок звукоізоляції.....	79
Висновки.....	82
Перелік джерел посилання.....	83

ВСТУП

Неперервний стан холодної прокатки призначений для прокатки холоднокатаних штаб товщиною 0,5...2,0 мм, швидкість прокатки – до 10 м/с, довжина бочки валків 1680 мм, діаметр робочих і опорних валків 510 і 1212 мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3300 кВт через шестеренну кліть. Як підкат використовується гарячекатані штаби товщиною 2...3,8 мм із масою рулону до 15 т. Сумарне обтиснення на цих станах досягає 80%.

Холодна прокатка здійснюється зі значним натягом, що знижує силу прокатки, стабілізує процес прокатки і служить у якості регулюючого фактора товщини штаби.

Оскільки основна маса плоского холоднокатаного прокату виробляється на безперервних і на станах нескінченної прокатки, то очевидно, що розробка енергетично ефективних режимів натягування найбільш доцільна саме на цих станах.

Натяг є одним з основних параметрів технології на безперервних станах холодної прокатки. З теорії і практики листопрокатного виробництва відомо, що натяг зменшує рівень контактних напружень і сили прокатки, сприяє зменшенню неплочинності прокатуваних штаб, підвищує стійкість процесу і обтискну здатність робочих клітей.

Енергосилові моделі для процесу холодної прокатки запропоновані А. І. Целіковим, Блендом, Фордом, В.О. Ніколаєвим та ін. Містять значну кількість спрощень для отримання аналітичних рішень і забезпечують прийнятну точність для середніх умов прокатки.

1. АНЛІТИЧНО ПОШУКОВА ЧАСТИНА

1.1 Стан проблеми

Натяг - один з найважливіших параметрів технології холодної штабової прокатки. Прикладенні розтягуючі сили до штаби на вході і виході осередку деформації підвищує стійкість і стабільність прокатки, забезпечує суттєве зменшення рівня контактних напруг і сили прокатки, сприяє підвищенню точності розмірів і площинності прокатуваних штаб, розширенню сортаменту і збільшенню продуктивності станів холодної штабової прокатки.

Натягнення. Натягнення полегшує подовжнє переміщення металу, зменшує дійсне значення напруження текучості і тим самим сприяє зниженню середнього контактного нормального напруження при прокатці ($\dot{n}_\sigma < 1$). Переднє (q_1) і заднє (q_0) питоме натягнення надають різний кількісний вплив на p_{cp} (рис 1.1).

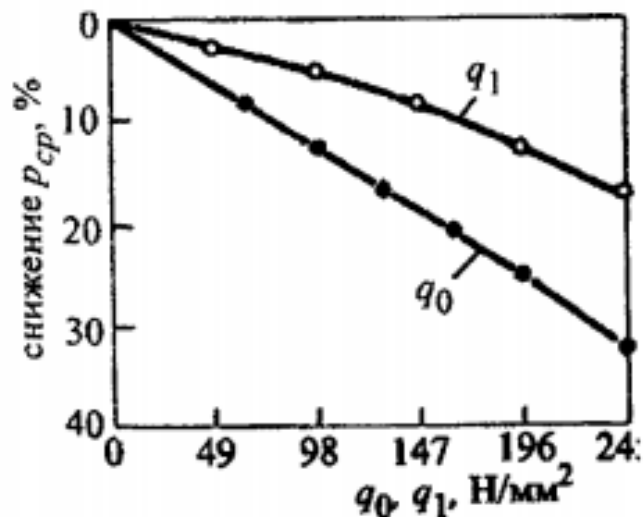


Рис. 1.1 Вплив заднього (q_0) і переднього (q_1) питомого натягнення на середнє контактне нормальне напруження при холодній прокатці сталевих штаб з однаковим відносним обтиском ($\epsilon = 0,3$) (дані В. Люєга і А. Помпа)

Заднє питоме натягнення впливає на p_{cp} більшою мірою, чим переднє. Відбувається це тому, що заднє натягнення впливає на зону відставання, яка займає більшу частину осередку деформації.

Передній і задній підпір кінців штаби викликає підвищення середнього контактного нормального напруження (в цьому випадку $\ddot{n}_\sigma > 1$).

1.1.1 Моделі межі текучості та напруження текучості при холодній прокатці

У літературі приведені експериментальні дані про межу текучості при кімнатній температурі для більшості металів і сплавів, що піддаються холодній прокатці. Найбільш масштабні дослідження межі текучості, при холодній прокатці виконані А.В. Трет'яковим. В результаті цих досліджень було встановлено кількісний вплив сумарного відносного обтиску ε_Σ при холодній прокатці на межу текучості, побудовані залежності $\sigma_{m\varepsilon} = \varphi(\varepsilon_\Sigma)$ при $t_{cm} = 20^\circ\text{C}$ для більш ніж 100 сплавів чорних і кольорових металів та запропоновані математичні моделі для їх описання. Ці моделі, що отримали широке практичне застосування, мають вид:

$$\sigma_{m\varepsilon} = \sigma_{m\varepsilon_{вих}} + m(100\varepsilon_\Sigma)^k \quad (1.1)$$

де $\sigma_{m\varepsilon_{вих}}$ - межа текучості матеріалу штаби після гарячої прокатки або термічної обробки; m , k - коефіцієнти, які визначають інтенсивність і характер зміцнення матеріалу штаби при холодній прокатці; ε_Σ - сумарний відносний обтиск при холодній прокатці, долі одиниці.

Модель (1.1) може бути записана у вигляді добутку початкової межі текучості $\sigma_{m\varepsilon_{вих}}$ на коефіцієнт зміцнення k_ε матеріалу штаби:

$$\sigma_{m\varepsilon} = \sigma_{mвих} k_{\varepsilon} \quad (1.2)$$

Коефіцієнт зміцнення k_{ε} чисельно дорівнює відношенню межі текучості, підрахованого з урахуванням впливу сумарного відносного обтиску при холодній прокатці до початкової межі текучості. Він визначає рівень і характер зміцнення матеріалу штаби при холодній прокатці. Як випливає з формули (1.2) коефіцієнт k_{ε} завжди більший одиниці (при $\varepsilon_{\Sigma}=0$ $k_{\varepsilon}=1$).

У таблиці 1.1. приведені значення параметрів $\sigma_{mвих}$, m , m_1 , k для деяких металів і сплавів, отримані А.В. Третьяковим при $t_{cm}=20^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1.1 Значення параметрів $\sigma_{mвих}$, m, m_1, k для деяких металів і сплавів

Марка сталі (сплавів)	Значення параметрів			
	$\sigma_{mвих}$, Н/мм ²	m , Н/мм ²	m_1	k
1	2	3	4	5
Залізо і його сплави				
Залізо Армко	250	50,0	0,2000	0,56
Ст 2	300	30,6	0,1020	0,62
08кп	230	34,6	0,1504	0,60
10	300	29,5	0,0983	0,64
20	375	31,6	0,0843	0,64
20А	350	64,5	0,1843	0,50
40	350	83,6	0,2389	0,48
50	400	100,0	0,2500	0,47
85	500	147,0	0,2940	0,43
09Г2	320	59,0	0,1844	0,46
12ГС	500	100,0	0,2000	0,34
65Г	400	176,0	0,4400	0,35
30ХГСА	475	86,0	0,1811	0,45
У8А	390	18,0	0,0462	0,84

У12А	620	7,6	0,0123	1,025
50ХФА	450	32,0	0,0711	0,66
12Х5МА	480	23,0	0,0479	0,72
08Х13	325	72,0	0,2215	0,45
11Х11Н2В2МФ	600	40,0	0,0667	0,64
12Х21Н5Т	670	27,0	0,0403	0,68
12Х18Н9	250	19,0	0,0760	1,00
12Х18Н9Т	410	24,0	0,0585	0,91
10Х14Г14Н4Т	340	33,0	0,0971	0,78
36Х18Н25С2	600	36,0	0,0600	0,76
ЕИ659	700	3,8	0,00543	1,10
ЕИ852	330	194,0	0,5879	0,26
Алюміній і алюмінієвий сплави				
А00	18	2,8	0,1556	0,74
АМЦ	50	6,0	0,1200	0,71
АМГ1	100	13,0	0,1300	0,59
АМГ3	75	64,0	0,8533	0,30
АМГ5П	150	45,0	0,3000	0,42
Мідь і мідно-цинкові сплави (латунь)				
МО	75	56,0	0,7467	0,41
Л90	230	29,0	0,1261	0,52
Л68	120	36,0	0,3000	0,62
Л59	175	29,0	0,1657	0,64
ЛН65-5	285	44,0	0,1544	0,53

Використання моделі (1.1) представляється більш наочним і зручнішим для аналізу впливу сумарного відносного обтиску на межу текучості на межу текучості при холодній прокатці. Це підтверджується графічними залежностями $k_\varepsilon = \varphi(\varepsilon_\Sigma)$, представленими на рис.1.2, які були побудовані по моделі(1.2) для тих же сталей,що і залежності $\sigma_{m\varepsilon} = \varphi(\varepsilon_\Sigma)$ на рис1.2. Як випливає з рис. 1.2, значення k_ε для всіх аналізованих сталей починаються з 1,0 і відображають повною мірою закономірності і особливості їх зміцнення. Видно також, що графічні залежності $k_\varepsilon = \varphi(\varepsilon_\Sigma)$ виражаються увігнутими кривими при $k > 1,0$ (рис. 1.2 , крива 5), опуклими кривими при $k < 1,0$ (рис.1.2, криві 2-4), або прямою лінією при $k = 1,0$ (рис. 1.2, крива 1).

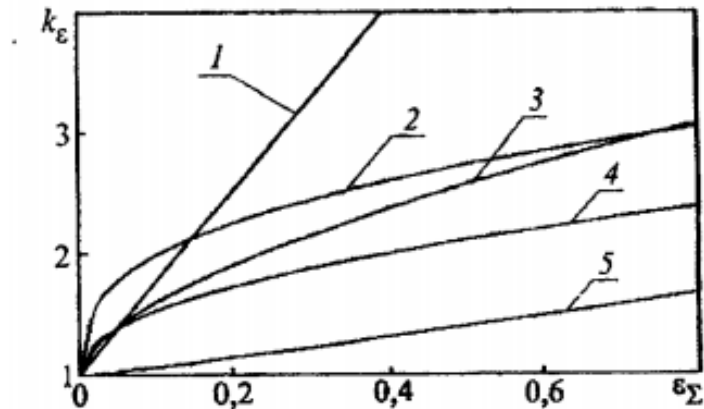


Рис. 1.1.2 Залежність $k_\epsilon = \varphi(\epsilon_\Sigma)$ для деяких сталей при $t = 20^\circ\text{C}$ (дані А.В. Трет'якова):
 1 – 12Х18Н9Т; 2 – 65Г; 3 – 08 кп; 4 – 09Г2; 5 – ЕІ659

На рис. 1.3 представлені графічні залежності $k_t = \varphi(t)$ для деяких вуглецевих і легованих сталей в діапазоні температур 20-400°C. З рис. 1.1.3 видно, що залежності $k_t = \varphi(t)$ мають складний характер зміни. В більшості випадків значення коефіцієнта k_t зменшуються з 1,0 (при $t = 20^\circ\text{C}$) до 0,75-0,90 (при температурі деформації 150-250°C).

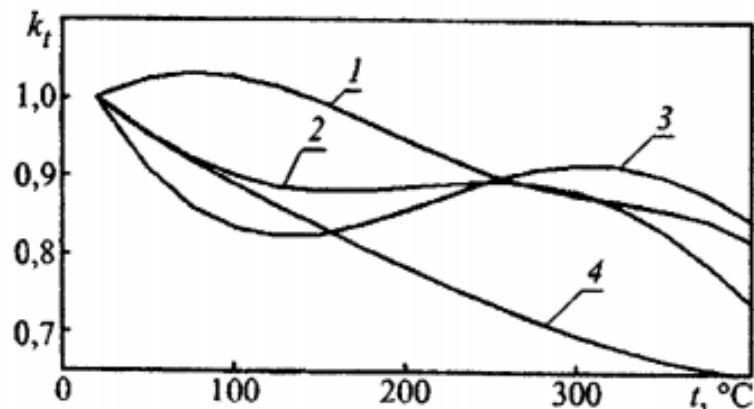


Рис. 1.1.3 Залежність $k_t = \varphi(t)$ для деяких сталей в діапазоні дорекристалізаційних температур:
 1 – 50ХФА; 2 – 08 кп; 3 – 40Н; 4 – 12Х18Н9

При цьому залежності $k_t = \varphi(t)$ зменшуються монотонно (крива 4), або мають вид сідловидних кривих (криві 2, 3). Залежності $k_t = \varphi(t)$ деяких сталей (крива 1) свідчать про те, що коефіцієнт k_t в діапазоні температур 20-150°C набуває значення більше 1,0. Це означає, що у вказаному діапазоні

температур межа текучості цих сталей підвищується.

Для визначення напруження текучості в будь-якому перерізі осередку деформації при холодній прокатці може бути використана модель де - ε_{np} - попередній (на вході в осередок деформації) відносний обтиск, долі одиниці; ε_x $\varepsilon_{\Sigma x}$, - частковий і сумарний відносний обтиск в даному перерізі осередку деформації, долі одиниці; t_x - температура штаби в даному перерізі осередку, °C; t_{cm} ; u_{cm} - температура і швидкість деформації при проведенні статичних випробувань зразків на розтягування ($t_{cm} = 20^\circ\text{C}$; $u_{cm} = 10^{-3} \text{c}^{-1}$); u - швидкість деформації в даному перерізі осередку, c^{-1} .

Для обчислення напруження текучості при холодній прокатці в кожному конкретному перерізі осередку по моделі спочатку знаходимо значення коефіцієнтів k_ε, k_t, k_u в даному перерізі. З цією метою в моделі підставляємо поточні (для даного перерізу) величини $\varepsilon_x, \varepsilon_{\Sigma x}, t_x, u_x$.

Користуючись таким підходом були отримані розрахункові дані про розподіл напруження текучості σ_m по довжині осередку деформації в кожній клітці шести клітьового стану 1400 при прокатці жерсті 0,18x855 мм з підкату 2,4x855 мм. Матеріал штаби - сталь 08кп. У табл. .1.2 приведені початкові дані, використані при виконанні розрахунків.

Результати розрахунків напруження текучості у виді графіків $\sigma_m = \varphi\left(\frac{x}{l}\right)$ (крива 1). Для порівняння на цьому рисунку приведені також графічні залежності $\sigma_{\text{те}} = \varphi\left(\frac{x}{l}\right)$ (криві 2), підраховані по моделі (1.2) з урахуванням впливу тільки зміцнення матеріалу штаби. Це зроблено тільки для того, щоб оцінити величину погрішності, Що допускається в результаті зневаги впливом температури і швидкості деформації при розрахунку напруження текучості на станах холодної прокатки.

Аналіз представлених на рис. 1.4 графіків дає можливість зробити наступні висновки:

1. Напруження текучості з урахуванням сумісного впливу ступеня, температури і швидкості деформації, розподіляється по довжині осередку

деформації більш рівномірно, ніж межа текучості, підрахована з урахуванням впливу тільки ступеня деформації.

2.Значення напруження текучості, в перерізах входу штаби у валки в перших двох клітках стану 1400, тобто при холодній прокатці не наклепаного або слабо наклепаного металу з відносно низькою температурою, перевищують значення $\sigma_{m\epsilon 0}$ в цих клітках в 1,34 і 1,14 рази відповідно. У подальших клітках, коли прокатці піддається наклепаний метал з вищою температурою, спостерігається зворотна картина - напруження текучості σ_m уздовж всього осередку набуває на 10-12% нижчих значень, ніж $\sigma_{m\epsilon}$.

3.Прийняття допущення про постійність σ_m по довжині осередку деформації при холодній прокатці є більш обґрунтованим, ніж допущення про постійність $\sigma_{m\epsilon}$.

4.Використання параметра σ_m замість $\sigma_{m\epsilon}$ при виконанні розрахунків забезпечує вищу точність прогнозування енергосилових параметрів процесу холодної прокатки.

5.При $k_t > 1,0$ напруження текучості σ_m матеріалу штаби набуває більш високі значення, ніж $\sigma_{m\epsilon}$. незалежно від ступеня деформації при холодній прокатці.

Таблиця 1.1.2 – Режим обтисків і температурно-швидкісні умови прокатки жерсті 0,18x855 мм із сталі 08кп на шести клітьовому стані 1400, використані при виконанні розрахунків σ_T і σ_{TE} [$R=300$ мм; $\sigma_{TE} = 260 + 34,6(100\epsilon_\Sigma)^{0,6}$]

№ кліті	Початкові значення параметра							Результати розрахунку σ_T і σ_{TE} , Н/мм ²			
	h_0 , мм	ϵ	q_1 , Н/мм ²	V_1 , м/с	$t_{0в}$, °С	$t_{0н}$, °С	$t_{1н}$, °С	σ_{TE0}	σ_{TE1}	σ_{T0}	σ_{T1}
1	2,40	0,140	143	2,9	40	40	61	260	429	349	417
2	2,06	0,400	132	4,8	44	60	108	429	615	490	557
3	1,24	0,414	138	8,1	48	105	150	615	702	605	619
4	0,73	0,400	176	13,5	52	146	184	702	747	652	659
5	0,44	0,330	143	20,4	56	179	207	747	768	682	682
6	0,29	0,380	50	33,0	65	201	223	768	783	700	698

Тут: q_1 - переднє питоме натягнення штаб; V_1 - швидкість штаби; $t_{0н}$ - середньо масова температура валка. Індекси "0" і "1" вказують на те, що значення параметра відповідає перерізу входу і виходу штаби з валків.

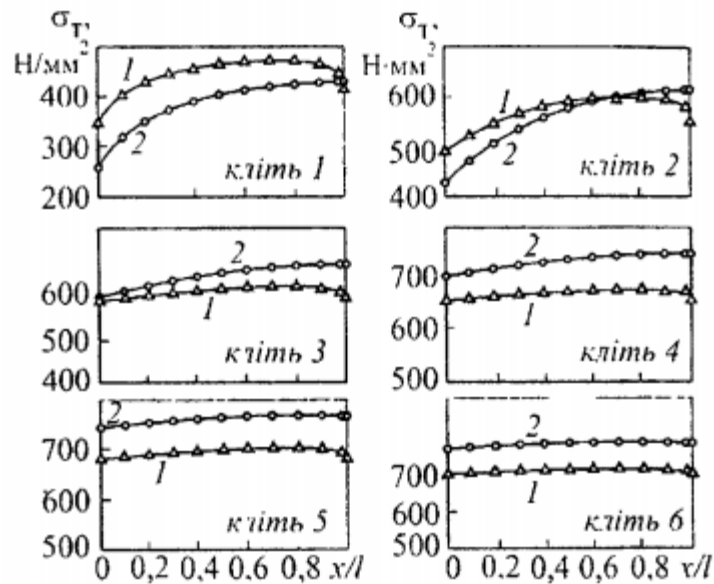


Рис. 1.1.4 Залежність $\sigma_T = \varphi\left(\frac{x}{l}\right)$ (криві 1) і $\sigma_{Te} = \varphi\left(\frac{x}{l}\right)$ (криві 2) при холодній прокатці жерсті із сталі 08 кп на шестиклітьовому стані 1400

Розрахунки по моделі показують, що при холодній прокатці більшості металів і їх сплавів на діючих станах, значення σ_{Tcpr} в перших одній-двох клітях (пропусках) виходять на 10-40% більш вищими, а в подальших клітях (пропусках) на 10-20% більш нижчими, ніж $\sigma_{T\epsilon cpr}$.

1.1.2 Визначення крутячого моменту при прокатці з натягненням

Коли процес прокатки здійснюється з прикладанням зовнішніх подовжніх сил до штаби у виді натягнення або підпору, рівнодіюча всіх сил в осередку деформації відхиляється від вертикального напрямку. В результаті змінюється і плече цієї сили відносно центру валка. Тому положення рівнодіючої при прокатці з натягненням визначають з умови рівноваги всіх подовжніх сил, прикладених до штаби.

Розглянемо випадок, коли прокатка ведеться із заднім натягненням (рис. 1.5, а). При сталому процесі прокатки сила заднього натягнення Q_0 має

бути урівноважена силами, прикладеними до деформованого металу з боку валків

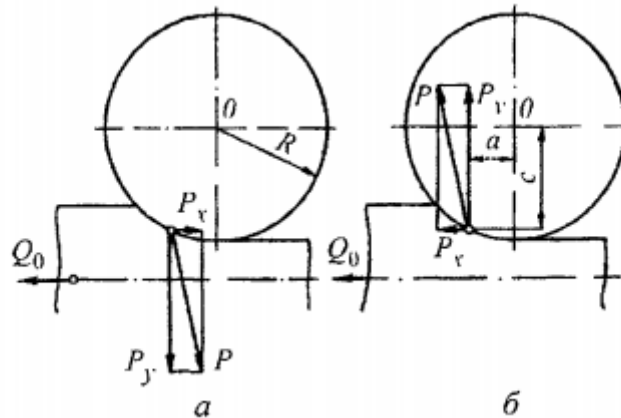


Рис.1.5 Діючі сили на штабу (а) і валки (б) при прокатці із заднім натягненням

Іншими словами повинна дотримуватися рівність:

$$Q_0 = 2P_x \quad (1.3)$$

Вираз (1.3) зумовлює напрям дії сили P . При цьому очевидно, що чим більше сила Q_0 , тим більше буде відхилення сили прокатки P від вертикалі.

Для визначення крутячого моменту звернемося до рис.1.5 б на якому показані діючі сили на валок з боку штаби. З цієї схеми видно, що крутячий момент для одного валка при прокатці із заднім натягненням може бути представлений у вигляді суми моментів від вертикальної P_y і горизонтальної

P_x складових сили P :

$$M_{np} = P_y a + P_x c \quad (1.4)$$

де c - плече сили P_x відносно центру валка.

Зупинимосся тепер на визначенні крутячого моменту при прокатці з переднім натягненням. Діючі сили на штабу і на валок в цьому випадку показані на рис.1.6. З умови рівноваги подовжніх сил, прикладених до штаби, знаходимо:

$$Q_1 = 2P_x. \quad (1.5)$$

Крутячий момент при прокатці з переднім натягненням дорівнює:

$$M_{np} = P_y a - P_x c \quad (1.6)$$

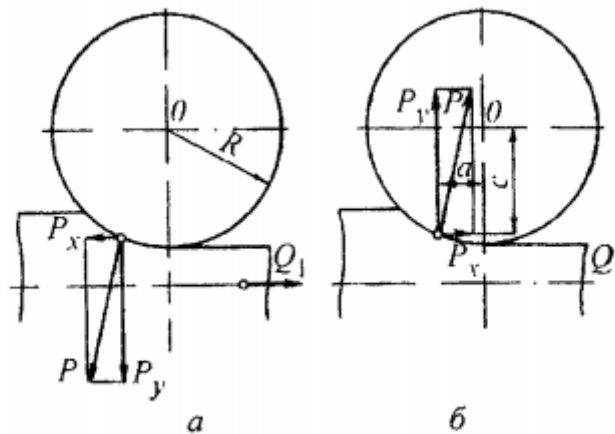


Рис. 1.6 Діючі сили на штабу (а) і валок (б) при прокатці з переднім натягненням

При прокатці з переднім і заднім натягненням положення точки прикладання рівнодіючою залежить від різниці сил $Q_0 - Q_1$. Тоді з умови рівноваги подовжніх сил маємо:

$$Q_0 - Q_1 = 2P_x \quad (1.7)$$

і формула для визначення крутячого моменту на бочці одного валка складе:

$$M_{np} = P\psi l + \frac{Q_0 - Q_1}{2} R. \quad (1.8)$$

При прокатці з однаковими по величині повними натягненнями ($Q_0 - Q_1$) з виразу (1.7) маємо $P_x = 0$. В цьому випадку рівнодіюча сила P направлена вертикально і формула (1.8) збігається з формулою крутячого моменту (1.7) для вільної прокатки. Проте це не означає, що крутячі моменти при прокатці з натягненням, коли $Q_0 = Q_1$, і при вільній прокатці будуть однаковими. При прокатці з однаковими повними натягненнями, зменшується величина сили P і, як наслідок, зменшується крутячий момент.

При прокатці з підпором кінців штаби для визначення крутячого моменту може бути використана формула (1.7) тільки в цьому випадку сили Q_0 і Q_1 і треба підставляти в неї із зворотним знаком.

1.1.3 Вплив натягнення (підпора) штаби на величину нейтрального кута

Проте процес прокатки на багатьох станах здійснюється в умовах, коли до штаб прикладені зовнішні подовжні сили у виді натягнення або підпору. Ці сили входять складовими в загальний баланс поздовжніх сил, тобто в рівняння рівноваги, і впливають на положення нейтрального перерізу в осередку деформації.

Розглянемо випадки симетричної прокатки тонкої широкої штаби, коли до її кінців прикладені сили заднього Q_0 і переднього Q_1 натягнення (рис.1.7).

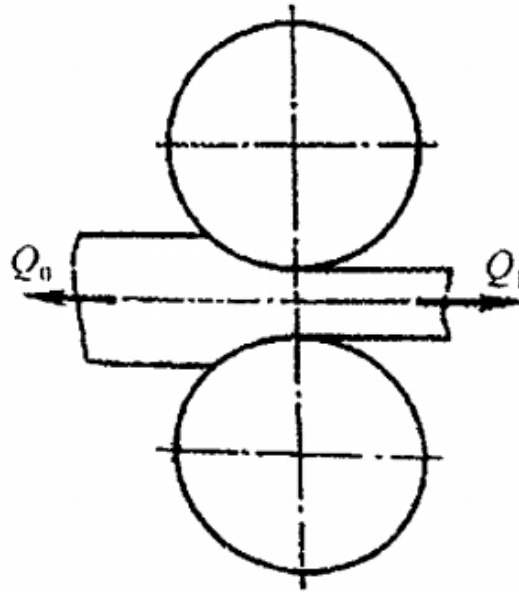


Рис. 1.7 Схема процесу поздовжньої прокатки з натягуванням. Q_0 - задній натяг; Q_1 -передній натяг.

З урахуванням сказаного при $b_0 \approx b_1 \approx b$ отримані Ю.М. Файнбергом. Величина p в цих формулах є середнє контактне нормальне напруження при прокатці з натягненням.

Аналіз формул показує, що переднє натягнення збільшує нейтральний кут, а заднє - зменшує його. При прокатці з великими задніми натягненнями другі доданки правих частин цих формул стають негативними і можуть порівнятися з першими. Це означає, що нейтральний кут γ при прокатці з натягненням може дорівнювати нулю, після чого починається буксування штаби у валках. Для уникнення можливості виникнення такої ситуації процес прокатки повинен здійснюватися при такому співвідношенні переднього і заднього натягнень, яке забезпечує виконання умови:

$$a > \gamma > 0. \quad (1.9)$$

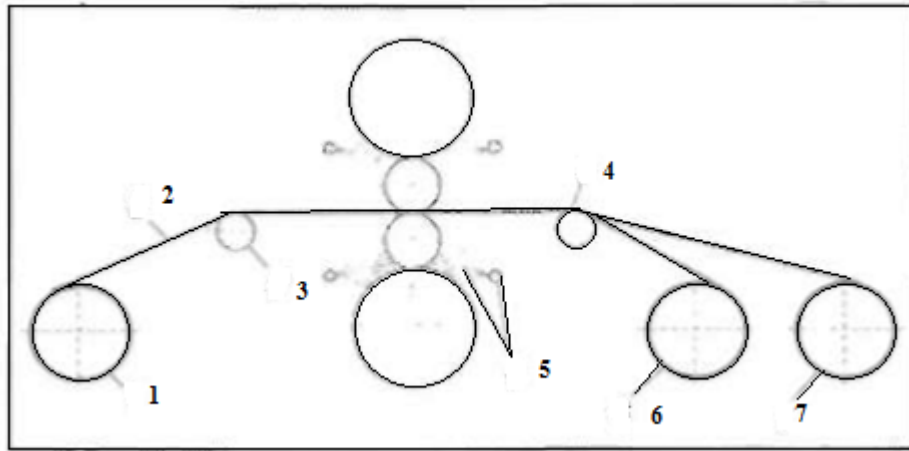
1.2 Літературний огляд.

Стаття В.А. Піменова, Ю. Ю. Бабушко, С. В. Бахтіна «Розробка технології реверсивної холодної прокатки тонкого висококремнистого прокату на основі математичної моделі енергосилових і теплових процесів». Моделі контактного тертя [1] не дозволяє адекватно врахувати різнохарактерні фактори, істотні для конкретної технологічної ситуації: властивості емульсії і емульсолу (в'язкість концентрацію, змащувальну здатність термічну стійкість), властивості контактуючих поверхонь робочих валків, у тому числі шорсткість; вплив енергосилових і кінематичних умов контактного тиску, швидкостей прокатки, відносного ковзання контактуючих поверхонь; геометричні фактори діаметр і сплющування робочих валків; кут захоплення .

Теоретичні оцінки коефіцієнта тертя можуть мати значну похибку, що знижує ефективність відпрацювання технології на моделях. Найбільш раціональною представляється адаптація моделі тертя на основі емпіричного визначення коефіцієнта тертя зворотним перерахунком за фактичними зусиллям прокатки з урахуванням технологічних умов процесу.

Енергосилові моделі для процесу холодної прокатки (А. І. Целікова, Бленда, Форда та ін.) містять значну кількість спрощень для отримання аналітичних рішень, забезпечують прийнятну точність для середніх умов прокатки. Це спрощення приводить до багатьох погіршень при модельованих екстремальних умовах прокатки, у тому числі для першого й особливо для останніх проходів при високій межі плинності, при низьких і великих обтисках і малій товщині штаби. Для зниження похибок доцільно використовувати максимально точні енергосилові моделі процесу.

В основу моделей енергосилових умови прокатки покладено чисельне рішення відомого диференціального рівняння рівноваги в осередку деформації Т. Кармана [2]



1 - розмотувач; 2 – штаба; 3, 4 стрессеметричні ролики; 5 - система селективного охолодження валків емульсією 6,7- моталки

Рисунок 1.8 Схема розташування основного обладнання стану

$$dp_x = (K_{cx} \pm \mu p_x / \operatorname{tg} \varphi_x) \left(\frac{dH_x}{H_x} \right) \quad (1.10)$$

де p_k контактне напруження в перерізі x осередку деформації: K_{cx} - опір деформації матеріалу штаби в перерізі x ; μ - коефіцієнт контактного тертя; φ_x - кут між дотичною до поверхні валка і горизонтальною площиною; H_x - товщина штаби в перетині x .

Опір деформації:

$$K_{cx} = 1,15 \sigma_{mx} \quad (1.12)$$

де σ_{mx} - межа плинності штаби в перетині x .

Зміцнення штаби при деформації :

$$\sigma_{mx} = \sigma_{mc} + b[100(H_0 - H_x)/H_0] \quad (1.13)$$

де σ_{mc} - межа плинності прокату, обумовлений на основі механічних випробувань; b, c - коефіцієнти зміцнення, встановлені на базі статистичних результатів механічних випробувань прокату при різних обтисненнях: H_0 - товщина подката.

Пружне сплющування валків в контактi розраховують з урахуванням фактичного зусилля прокатки за формулою С. С. Чепуркіна[3]

$$R_c = R_0 \left[\frac{C_n \theta P_{cp}}{(H_{i-1} - H_i) W} \right] \quad (1.14)$$

де R_c - радіус деформованого валка ; R_0 - вихідний радіус валка ; θ - константа пружних властивостей матеріалу : $C_n = 14,4$ коефіцієнт враховуючий параболічну форму епюри навантаження : H_i, H_{i-1} - товщина полоси до та після проходу ; W - ширина штаби.[1]

В даний час ведеться налагодження технологічних режимів і алгоритмів для створення замкнутого контуру автоматичного регулювання площинності в процесі прокатки по каналу розподілу витяжок але ширині штаби - положення осей зсуву. Напрямки робіт по вдосконаленню технології холодної прокатки: оптимізація режиму обтиснень з випробуванням додаткового підвищення обтиску в п'ятому проході, що дозволить стабілізувати температуру по довжині штаби, підвищити чистоту холоднокатаної штаби і якість покриття готової продукції; оптимізація температурних режимів прокатки по проходах, включаючи паузи між проходами, для забезпечення найкращих магнітних властивостей готової продукції; розрахунок і оптимізація налаштування осьової зсуву по проходах з урахуванням фактичних пластичних властивостей конкретних штаб з подальшою адаптацією по фактичному стану устаткування стану; введення замкнутий контур автоматичного регулювання площинності в ході: підвищення чистоти штаби після холодної прокатки встановленням

додаткових колекторів для здування емульсії. Їх виконання дозволить стабілізувати технологічний процес і гарантовано забезпечувати виконання вимозі по температурних режимах, точності, площинності і чистоті прокату, досягти максимально високого рівня якості готової проєкції.

Розглянемо статтю в журналі «Сталь» №11 2014 «Дослідження впливу співвідношення питомих натягів на потужність холодної штабової прокатки» Я. Д. Василева, Д. Н. Самокиша НМетАУ (м Дніпропетровськ, Україна)

Натяг - один з найважливіших параметрів технології холодної штабової прокатки. Додаток тягнучих сил до штаби на вході і виході осередку деформації підвищує стійкість і стабільність прокатки, забезпечує суттєве зменшення рівня контактних напруг і сили прокатки, сприяє підвищенню точності розмірів і площинності прокатуваних штаб, розширенню сортаменту і збільшенню продуктивності станів холодної штабової прокатки. Застосовувані на діючих станах холодної прокатки питомі натягу q змінюються в межах від $(0,05 \div 0,15) \sigma_m$, (де σ_m - межа текучості матеріалу штаби у відповідному міжклітьовому проміжку, до $(0,30 \div 0,45)$). Величина відносних питомих натягів q/σ_m залежить від сортаменту прокатуваних штаб і обмежується точністю і якістю продольних кромek вихідного підкату, ступенем наклепу і механічними властивостями матеріалу штаби, а також можливостями механічного та електричного устаткування стану, хоча з технологічних міркувань ведення холодної прокатки з більш високими відносними питомими натягу у всіх випадках більш переважно. Однак рекомендації за визначенням раціональних величин відносних питомих натягів і їх співвідношення при холодної прокатки відсутні. [4]

Порівняно недавно було теоретично доведено [5, 6] і експериментально підтверджено [7], що холодна прокатка з натягуванням енергетично більш вигідна, ніж прокатка без натягу, так як при прокатці з натягуванням зменшуються рівень контактних напружень, контактна поверхню металу з інструментом і, як наслідок, потужність, що витрачається на подолання

опору сил контактного тертя, в результаті чого сумарна потужність, необхідна для реалізації даного процесу, також зменшується [6,8].

У таблиці 1.3 представлені результати розрахунків технологічних параметрів, включаючи потужності прокатки, для існуючих і пропонованих (енергозберігаючих) режимів натягнення при холодній прокатки штаб з низьковуглецевих сталей розмірами 0,5 x 1020 мм і 0,8 x 1020 мм на одноклітьових реверсивному стані 1680 ВАТ «Запоріжсталь». Сумарну потужність при прокатці з натягуванням визначали у відповідності з рівнянням балансу потужностей, що представляє чисельник .

$$W_c^H/W_c = (W_c^{np.H} - W_0 + W_1)/W_c \quad (1.15)$$

Згідно даному рівнянню, потужність розмотуючої моталки (чисельник, див. Таблицю) враховується зі знаком «-», а потужність намотуючої моталки (знаменник, див. Таблицю) - зі знаком «+». Енергосилові параметри при холодній прокатки розраховували за методикою, розробленою на кафедрі «Обробка металів тиском» НМетАУ (м. Дніпропетровськ), з урахуванням впливу зміцнення матеріалу штаби, температурно-швидкісних умов деформації, коефіцієнта тертя, натягу і пружних деформацій валків і штаби [5, 10, 11].

Аналіз наведених у таблиці даних показує, що режими натягування на стані 1680 характеризуються дуже низьким рівнем відносних питомих натягів ($0,06 < q/\sigma_m < 0,18$). При цьому зміна $q_0\sigma_{m0}$ і $q_1\sigma_{m1}$ і їх співвідношення $q_0\sigma_{m1}/q_1\sigma_{m0}$ в кожному мають випадковий характер, що не сприяє мінімізації З таблиці яка наведеної авторами можна зробити висновки, що сумарна потужність, необхідна для здійснення холодної прокатки з натягом, завжди менше потужності холодної прокатки без натягу, причому прокатка з двома однаковими відносними питомими натягу або з превалюючим заднім відносним питомим натягом енергетично більш вигідна, ніж прокатка з одним переднім або з превалюючим переднім

Таблиця 1.3 Діючі та пропоновані режими натягу і енергосилові параметри при холодній прокатки на реверсивному стані 1680 «Запоріжсталь» [4]

Клеть №	h_2 , мм	ε_2	ε_3	q_0 , Н/м ²	q_1 , Н/м ²	q_0/σ_{T0}	q_1/σ_{T1}	f	l_c , мм	ρ_c , МН	v_0 , м/с	W_{C1} , кВт	$W_{зонт}$, кВт	$W_{згор}$, кВт
А. Прокатка полосы 0,5 × 1020 мм из подката 2,5 × 1020 мм (сталь 08кп); $\sigma_T = 230 + 34,6(100\varepsilon)^{0,61}$; $t_{он} = 40$ °С; $t_{оз} = 55$ °С, $R_c = 1,0$ мкм; $t_{оз} = 40$ °С														
Действующий режим прокатки: $\Sigma W_{зонт} = 4401$ кВт														
1	2,50	0,293	0,293	15	64	0,067	0,138	0,093	16,0	9,64	1,9	629	$\frac{54^*}{231^{**}}$	806
2	1,77	0,312	0,514	58	76	0,125	0,139	0,084	14,64	11,28	2,4	1036	$\frac{180^*}{236^{**}}$	1091
3	1,22	0,254	0,637	57	65	0,104	0,110	0,079	12,07	10,42	2,9	829	$\frac{158^*}{180^{**}}$	852
4	0,91	0,274	0,737	76	81	0,129	0,130	0,077	11,35	10,74	3,4	900	$\frac{184^*}{196^{**}}$	912
5	0,66	0,241	0,800	82	77	0,131	0,119	0,074	10,14	10,40	3,9	750	$\frac{170^*}{160^{**}}$	740
Предложенный режим натяжений: $\Sigma W = 4115$ кВт; $k_q = 0,17$; $\Delta \Sigma N = 286$ кВт; $\Delta \Sigma W / \Sigma W_{зонт} = 6,5$ %														
1	2,50	0,293	0,293	60	155	0,269	0,333	0,093	15,57	7,64	1,9	398	$\frac{216^*}{559^{**}}$	741
2	1,77	0,312	0,514	132	183	0,283	0,331	0,083	14,16	9,18	2,4	876	$\frac{409^*}{567^{**}}$	1034
3	1,22	0,254	0,637	164	196	0,297	0,329	0,077	11,40	7,97	2,9	710	$\frac{455^*}{544^{**}}$	789
4	0,91	0,274	0,737	181	206	0,304	0,329	0,075	10,65	8,24	3,4	790	$\frac{438^*}{498^{**}}$	851
5	0,66	0,241	0,800	196	77	0,312	0,328	0,073	9,75	8,95	3,9	937	$\frac{405^*}{159^{**}}$	691
Б. Прокатка полосы 0,8 × 1020 мм из подката 2,7 × 1020 мм (сталь 1кп); $\sigma_T = 260 + 13,3(100\varepsilon)^{0,73}$; $t_{он} = 40$ °С; $t_{оз} = 55$ °С, $R_c = 1,0$ мкм; $t_{оз} = 40$ °С														
Действующий режим прокатки: $\Sigma W_{зонт} = 3085$ кВт														
1	2,70	0,296	0,296	15	69	0,060	0,179	0,094	16,28	8,55	1,9	603	$\frac{58^*}{268^{**}}$	813
2	1,90	0,298	0,506	63	82	0,163	0,184	0,082	14,20	8,47	2,4	832	$\frac{214^*}{279^{**}}$	897
3	1,33	0,185	0,597	61	70	0,137	0,149	0,075	10,41	6,54	2,9	495	$\frac{203^*}{233^{**}}$	525
4	1,90	0,163	0,663	82	84	0,175	0,172	0,072	9,25	5,85	3,5	466	$\frac{274^*}{281^{**}}$	473
5	0,91	0,13	0,707	86	80	0,176	0,160	0,069	8,17	5,28	4,0	397	$\frac{283^*}{263^{**}}$	377
Предложенный режим натяжений: $\Sigma W = 2946$ кВт; $k_q = 0,15$; $\Delta \Sigma N = 140$ кВт; $\Delta \Sigma W / \Sigma W_{зонт} = 4,5$ %														
1	2,70	0,296	0,296	68	129	0,270	0,332	0,093	15,95	6,95	1,9	519	$\frac{264^*}{500^{**}}$	755
2	1,90	0,298	0,506	110	148	0,283	0,330	0,082	13,91	7,28	2,4	737	$\frac{374^*}{504^{**}}$	866
3	1,33	0,185	0,597	133	155	0,297	0,328	0,074	10,00	5,29	2,9	427	$\frac{443^*}{516^{**}}$	501
4	1,09	0,163	0,663	143	161	0,303	0,328	0,071	8,87	4,85	3,5	397	$\frac{478^*}{538^{**}}$	457
5	0,91	0,13	0,707	151	80	0,308	0,159	0,069	8,00	4,80	4,0	600	$\frac{496^*}{263^{**}}$	367

питомим натягом . Тому в якості базового при розробці режимів натягнень на станах холодної прокатки доцільно приймати задній більше ніж передній. [4] потужності (витрати енергії) в процесі холодної прокатки.

Отримано кількісні дані про вплив рівня і співвідношення відносних питомих натягів на сумарну потужність при холодної прокатки з натягом. Встановлено, що найбільш істотне зменшення споживаної потужності при холодної прокатки з натягом досягається при реалізації процесу з відношенням заднього відносного питомої натягу до переднього відносній питомій натягненню менше двох: $q_0\sigma_{m1}/q_1\sigma_{m0} < 2$

Запропоновано залежності (моделі) для визначення оптимальних заднього (q_0/σ_{m0}) і переднього (q_1/σ_{m1}) відносних питомих натягів і їх відношення $q_0\sigma_{m1}/q_1\sigma_{m0}$, що забезпечують мінімізацію потужності (витрати енергії) при холодної прокатки з натягом. З використанням запропонованих моделей оптимізовані режими натягування на одноклітьовому реверсивному стані 1680, що дозволили зменшити потужність, споживану при холодної прокатки, на 6,5 і 4,5%.

В даний час відсутня надійна, відносно проста і досить точна інженерна модель для визначення температури штаби на виході з осередку деформації при холодної прокатки. Тому пошук можливостей для підвищення точності і надійності прогнозування цієї температури шляхом створення більш коректною та більш компактною моделі і відповідної методики для її реалізації достатньо актуально. Цій меті присвячується означена стаття Я.Д. Васильова «Інженерна методика розрахунку температури штаби при холодної прокатки»

У процесі холодної прокатки за рахунок перетворення в тепло роботи формозміни та роботи сил контактного тертя штаба нагрівається, і її температура досягає 150- 250 ° С і більше [13 - 16]. Зі збільшенням температури штаби, тобто з жорсткістю температурного режиму деформації, відбувається істотна кількісна зміна всіх параметрів процесу холодної прокатки [13,15, 17].

Необхідною умовою для розробки та реалізації оптимальних деформаційних і температурно-швидкісних режимів на діючих станах холодної прокатки є наявність надійної методики розрахунку температури штаби. Найбільш поширені моделі та методики для визначення температури штаби при холодній прокатки наведені в роботах Белосевича В.К., Нетесовв Н.П., Робертса В., Василева Я.Д., [13, 14,16,18-20] та ін. В інженерній практиці користуються виключно моделями для визначення температури штаби на виході з осередку деформації Кузнецов Л.А. Василев Я.Д., Дементиенко А.В [13,14,16,19-21]. Запропоновані в літературі моделі отримані з прийняттям різних за значимістю припущень і спрощень. З цієї причини багато з них не забезпечують задовільної точності при розрахунку температури. Теоретично більш обґрунтовані моделі, наприклад, наведені в роботах [14,16,18,20], забезпечують необхідну точність прогнозування температури. Але відрізняються громіздкістю кінцевих виразів, що обмежує їх застосування. [12]

Представлена в статі (модель) методика розрахунку температури штаби при холодному прокатуванні є коректною і може бути рекомендована для використання в інженерній практиці. Слід зазначити, що розрахунок температури штаби при холодній прокатці є складовою частиною методики розрахунку енергосилових і кінематичних параметрів процесу.

На основі виконаного раніше теоретичного рішення задачі розподілу температури металу по довжині осередку деформує при холодному прокатуванні отримана нова, більш компактна модель температури штаби на виході з осередку деформації та інженерна методика для її реалізації. Експериментально підтверджена, що ці моделі можуть працювати у всьому діапазоні температур деформації при холодній прокатки. Модель забезпечує прогнозування температури з задовільною точністю. Результати розрахунку температури штаби на виході з використанням нової інженерної моделі при прокатці жерсті і штаб більшої товщини на станах 1400 і 1700 підтвердити ,

що пластична деформація металу на діючих станах холодної прокатки здійснюється при температурах 160-230 ° С.

Це свідчить про необхідність врахування впливу температури штаби на параметри процесу холодної прокатки і дає підставу рекомендувати дану модель для прогнозування температури штаби при виконанні технологічних розрахунків на станах холодної прокатки. [12]

Василів Я.Д. , Самокиш Д.Н. в журналі «Металургическая и горнорудная промышленность» у статі «Розробка енергозберігаючих режимів натягування на безперервних станах холодної прокатки». Холодна прокатка є одним з найбільш енергоємних процесів пластичної деформації. Статистичні дані [23] свідчать про те, що питома витрата електричної енергії при холодної прокатки штаб товщиною 0,5-1,0 мм з вуглецевих сталей становить 40-100 кВт-ч / т.

При виробництві жерсті одинарної прокатки і тонкої жерсті подвійної прокатки питома витрата енергії збільшується, відповідно, до 150-200 і 200-250 кВт-ч/т і більше. При холодній прокатці тонких і особливо тонких штаб з електротехнічних і високоміцних сталей питома витрата електричної енергії в 1,5-2,5 рази вище, ніж для холодній прокатки аналогічного сортаменту з низьковуглецевих сталей. Великі питомі витрати електричної енергії при холодної прокатки призводять до подорожчання продукції і зниження її конкурентоспроможності. Тому пошук можливостей для зменшення енергоспоживання при виробництві холоднокатаного прокату в умовах безперервного зростання ціни на енергоносії дуже актуально. Цій меті присвячена ця стаття. [23]

Для реалізації поставленої мети використовували нетрадиційний, але досить ефективний спосіб зменшення питомої витрати електричної енергії при холодному прокатуванні, сутність якого полягає в розробці енергозберігаючих режимів натягування на діючих станах. Оскільки основна маса плоского холоднокатаного прокату виробляється на безперервних і на

станах нескінченної прокатки, то очевидно, що розробка енергетично ефективних режимів натягування найбільш доцільна саме на цих станах.

Натяг є одним з основних параметрів технології на безперервних станах холодної прокатки. З теорії і практики листопрокатного виробництва відомо, що натяг зменшує рівень контактних напружень і сили прокатки, сприяє зменшенню неплочинності прокатуваних штаб, підвищує стійкість процесу і обтискну здатність робочих клітей Василев Я.Д., Сафьян М.М., Мазур В.Л., Ноговицын А.В. [23,24]. Відомо також, що зі зменшенням товщини прокатуваних штаб і ступеня їх попереднього наклепу технологічна ефективність процесу холодної прокатки з натягом підвищується [24, 25]. В даний час відсутні науково обґрунтовані рекомендації з визначення рівня і характеру розподілу відносних питомих натягів на безперервних станах холодної прокатки. Крім того, відсутні дані про енергетичну ефективність режимів натягування. Тому при розробці режимів натягування зазвичай керуються досвідом і інтуїцією. У табл. 1 представлені режими натягування, застосовувані на безперервних станах при холодної прокатки штаб з вуглецевих сталей.

Як впливає з цих даних найбільші відносні питомі натягу ($0,2-0,45$, де межа плинності матеріалу штаби у відповідному межклітьовому проміжку) мають місце в перших клітях безперервних станів, які монотонно убують від першого кліті до останньої. Такий характер розподілу питомих натягів прийнятний, виходячи з умов попередження обривів штаби при холодної прокатки, оскільки така ймовірність зростає зменшенням товщини і збільшенням сумарної відносної деформації штаби [24].

Результат раніше виконаних авторами теоретичних досліджень [26] показали, що холодна прокатка з натягуванням є енергетично більш вигідним процесом, ніж холодна прокатка без натягу. Істотний вплив на енергетичну ефективність процесу холодної прокатки з натягом надає не тільки рівень, але і співвідношення відносних питомих натягів. Встановлено, що, за інших рівних умов, прокатка з превалюючим заднім відносним натягом. Межа

текучості матеріалу штаби на вході і виході з осередку деформації) відрізняється меншим рівнем споживаної потужності, ніж прокатка з превалюючим переднім відносним натягом. Тому холодна прокатка з превалюючим заднім натягом виявляється завжди енергетично більш вигідним процесом. [22]

З викладеного випливає, що тільки за рахунок вдосконалення режимів натягування на безперервних станах, головним чином, за рахунок збільшення рівня відносних питомих натягів при безперервній холодній прокатки жерсті і штаб товщиною до 0,5-0,8 мм, можна зменшити питому витрату електричної енергії в середньому на 2-15 кВт-ч / т. Реалізація даного технічного рішення дозволить знизити собівартість плоского холоднокатаного прокату не менше, ніж на 1,5-15 грн. / Т.

Раніше було встановлено, що холодна прокатка з натягуванням є енергетично більш вигідним процесом, ніж прокатка без натягання. Тому при розробці режимів деформації на безперервних станах повинна враховуватися енергетична ефективність застосовуваних режимів натягування.

1.3 Постановка задачі

Прокатне виробництво є заключною стадією металургійного циклу.

Виробничий процес у прокатних цехах включає різні операції по обробці металу для одержання продукції з заданими характеристиками, більшість з яких протікає при великих швидкостях з малою тривалістю і частою повторюваністю. Тому найменші втрати в циклі обертаються великими утратами випуску продукції.

Одним з напрямків підвищення ефективності виробництва служить використання ресурсозберігаючих і удосконалених технологій, що дозволяють випускати продукцію з найменшими витратами.

Подальший розвиток прокатного виробництва холоднокатаних штаб нерозривно пов'язаний з необхідністю розширення сортаменту, підвищення якості та зниження собівартості готової металопродукції. Доцільно провести всебічний комплекс досліджень для підвищення показників технології та обладнання процесу холодної прокатки штаб.

Насамперед обладнання намотувально-натяжних пристроїв визначає рівень енергосилових параметрів, питому продуктивність, точність геометричних розмірів, наявність поверхневих дефектів, якість змотки рулонів.

Натягнення впливає на процес холодної тонколистової прокатки визначаючи його деформаційні (або геометричні), кінематичні і енергосилові параметри. Ці параметри тісно пов'язані з показниками ефективності процесу прокатки в цілому. Тому важливою теоретичною і технологічною задачею є детальне дослідження залежності енергосилових параметрів від натягнення штаби при холодній прокатці.

Можливість забезпечення надійної фіксації рулонів без попереднього підмотування декількох витків при наявності питомих напружень переднього натягування, що досягають (0,3...0,5) від напружень текучості матеріала штаб, що прокатується.

Ефективність роботи устаткування безперервного стану холодної прокатки, в значній мірі є величина і стабільність натягнення штаб, що прокочується. При цьому підвищення величини технологічних натягувань спричиняє як позитивні, так і негативні наслідки. Підвищення величини натягу призводить до зниження енергосилових параметрів, зокрема моменту прокатки.

З іншого боку збільшення технологічних натягувань зі збільшенням імовірності обриву металу поміж клітями, а великий натяг, утворюваних моталок призводить до зварювання витків під час відпалу.

Суперечливість впливу технологічних натягувань робить актуальною постановку і вирішення задач з визначення їхніх ефективних рівнів, які

найбільш повно відповідають особливостям конкретного прокатного стана. Відповідно до цього сформульовані задачі з призначення максимально припустимих рівнів переднього натягування як з погляду зниження імовірності обривів, так і з погляду можливості візуального контролю дефектів площинності і форми.

Крім того збільшення натягу покращує площинність штаб і якість намотування витків в рулон на моталці.

В роботі визначені можливі межі змін переднього і заднього натягування металу, які забезпечують зниження енергосилових параметрів та покращення пластичності штаб.

2. ДОСЛІДНИЦЬКО – РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 План проведення теоретичних або експериментальних досліджень

На основі літературного огляду і постановки задачі провести:

1. Розрахунок режиму деформації штаби товщиною 1,0x1300 мм зі сталі 2кп на неперервному стані холодної прокатки 1680. За методикою професора Ніколаєва В.О.

2. Визначення раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби, кінематичного, температурного режиму.

3. Провести на стані дослідницько-промислової прокатки штаб з контролем і фіксацією отриманих результатів.

4. Обробити та проаналізувати результати.

До обтискних станів відносять блюмінги і слябінги. На більшості металургійних заводів, де налагоджено виробництво сталі, обтискні стани переробляють велику литу заготовку (злиток) у заготовку, призначену для подальшої прокатки у сортопрокатних, трубопрокатних та листопрокатних цехах. Таким чином, і блюмінг і слябінг є головними прокатними станами, що в основному визначають обсяги випуску товарної продукції.

Блюмінг виготовляє квадратну заготовку - блюм розміром $100 \times 100 \div 400 \times 400$ мм, споживачами якої є безперервні заготовочні стани (встановлюються безпосередньо за блюмінгом) сортопрокатні та дротяні стани, а також трубопрокатні стани. Продукція слябінгу – сляб, заготовка для листопрокатних цехів розміром $100 \div 300 \times 600 \div 2300$ мм.

Нагрівання злитків перед прокаткою здійснюється у відділення нагрівальних колодязів, в якому зливки, що надходять із розливного

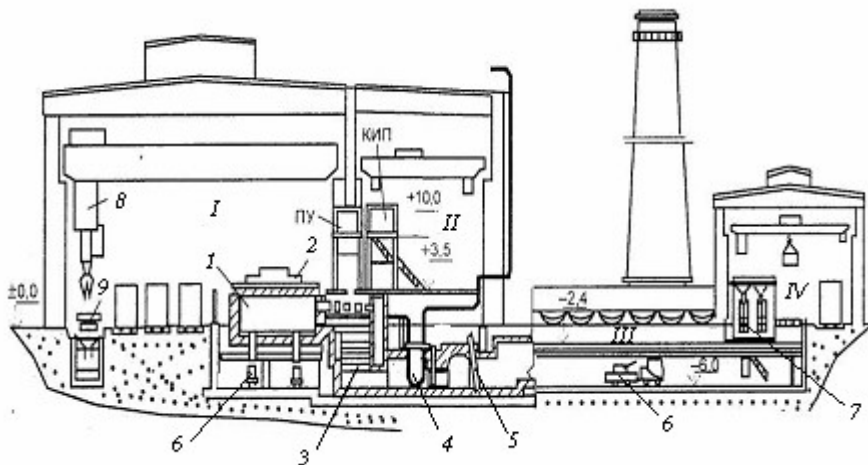
відділення сталеплавильного цеху, нагріваються (підігріваються) перед прокаткою.

Нагрівальні колодязі є «воротами» обтискних цехів. Нагрівальні колодязі виконані у вигляді камер, які зливки краном кліщового типу завантажують у вертикальному положенні, завдяки чому досягають рівномірного нагріву металу і забезпечують можливість вивантаження злитків з колодязів тим же краном.

Зазвичай два або чотири колодязі утворюють одну групу. Застосовують також одинарні колодязі великих розмірів.

На рис.2.1 наведено поперечний розріз по будівлі відділення нагрівальних колодязів

У обтискних цехах застосовують рекупераційні свердловини (шихтою $100 \div 200$ т) з нижнім або верхнім підігрівом, обігріваються сумішшю доменного газу і коксового газу, теплотворна здатність якої становить $5900 \div 8380$ кДж/кг.



I-головний проліт; II-допоміжний проліт; III-двоюрисна галерея; IV-Приміщення для заправних матеріалів; 1- Нагрівний осередок; 2 - підлогово-кришковий кран; 3 та 4- Керамічний та металевий рекуператори; 5 - димовий шибер; 6 - ківш для шлаку; 7 - візок для коксика та вогнетривів; 8 - колодязевий кран; 9 – злиткоподача

Рисунок 2.1. Поперечний розріз будівлі відділення нагрівальних рекуперативних колодязів:

З метою економії палива та більш форсованого нагріву необхідно в колодязі завантажувати зливки з температурою $800\div 900^{\circ}\text{C}$. Для додаткового підігріву злитків до температури $1260\text{-}1360^{\circ}\text{C}$ та витримки (томлення) при цій температурі потрібно 2,5-3,5 год. Якщо ж у колодязі завантажувати холодні зливки (з температурою $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$), то для нагрівання їх знадобиться час у 2-2,5 рази більше, ніж при холодному саду.

Продуктивність колодязя при нагріванні злитків із середньо вуглецевої сталі (за даними досвіду) становить 15-18 т/год для гарячих та 8-10 т/год для холодних злитків.

Нагрівальні колодязі зверху герметично (через пісочні затвори) закривають кришками, що являють собою склепіння з вогнетривкої цегли, набраної в металевому каркасі. Операції з відкривання та закривання кришки колодязя виконують спеціальні підлогові крани.

Зняття гарячих злитків із залізничних платформ, поданих з відділення розливу, посадку їх у нагрівальні колодязі, виїмку з колодязів та посадку в злитковоз виконують спеціальні мостові (кліщові) крани вантажопідйомністю до 50 т.

Сучасними обтискними станами є реверсивні одноклітинні слябінги, блюмінги та блюмінги-слябінги з горизонтальними прокатними валками діаметром 1150-1500 мм продуктивністю до 3-6 млн. т на рік. На цих станах швидкість прокатки досягає 5-6 м / с, а маса злиwkів, що прокочуються, досягає 10 - 22 т. - На блюмінгах і 40-45 т. - На слябінгах і блюмінгах-слябінгах. Пропускна здатність ділянок виробництва блюмів та слябів визначається продуктивністю обтискного стану та потужністю відділення нагрівальних колодязів

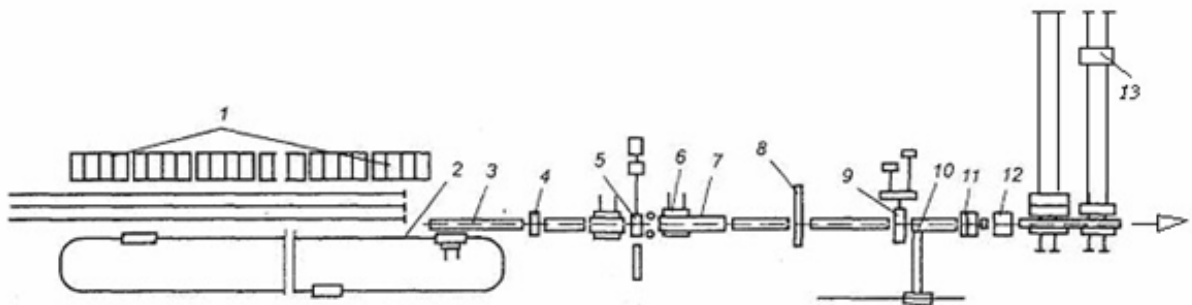
Схеми розташування обладнання слябінгів та блюмінгів в основному ідентичні; тільки у слябінгів замість робочої двовалкової кліті (як у блюмінгу) встановлюють універсальну робочу двовалкову кліть, а конструкції обладнання відрізняються головним чином своїми розмірами та технічними характеристиками.

У цьому не важко переконатися, вивчивши розташування обладнання того та іншого стану .

Слябінги застосовують тільки для прокатки слябів, тому горизонтальні валки робочої кліти виконують гладкими (циліндричними). Для отримання широких слябів правильного прямокутного перерізу з рівними бічними гранями в робочій кліті слябінгу, крім горизонтальних валків, передбачені вертикальні валки (розташовані перед або за горизонтальними), тому таку кліть називають універсальною.

До складу слябінгу входять: кільцева злиткоподача; приймальний рольганг із вагами для зливків; універсальна робоча кліть 1250 з маніпуляторами, кантувачем та робочими рольгангами; машина для вогневої зачистки; ножиці гарячого різання зусиллям різання 28 МН з конвеєром збирання обрізків; ваги для слябів; клейник та пристрої для прибирання слябів на склад та передачі до безперервного широкосмугового стану 2000 гарячої прокатки.

Технологічний процес прокатки на слябінгу 1250 та характеристика обладнання стану наступні (рис.2.2).



1-нагрівальні рекуперативні колодязі; 2- кільцева злиткоподача; 3- приймальний рольганг; 4-ваги відповідно для злуків та слябів; 5 – універсальна робоча кліть 1250; 6 – маніпулятор з кантувачем; 7 – робочі рольганги; 8- МОЗ; 9- ножиці; 10- конвеєр прибирання обрізу ; 11-таврувач; 12-прибиральні пристрої

Рисунок 2.2- Схема компонування обладнання слябінгу 1250

Зливки завантажують колодязевими кранами в колодязі для нагріву до температури 1250—1280 °С і потім за допомогою тих же колодязевих кранів зливки виймають з колодязів і завантажують на один із злитковозів, який по кільцевому шляху транспортує гарячий злиток до приймального рольгангу стану зі швидкістю до 5 м /с. Після зупинки злитковозу у приймального рольгангу злиток в горизонтальному положенні стикають рольганг. Передбачена також можливість подачі злитків до стану колодязевим краном. У цьому випадку злиток встановлюють у люльку стаціонарного перекидача, розташованого перед приймальним рольгангом. Час перекидання люльки 8 с.

З приймального рольгангу злиток передають зі швидкістю до 1,2 м/с на ваговий рольганг, де метал зважують і при необхідності повертають на 180° (для завдання зливка у валки кліті вузьким кінцем) горизонтальній площині. Механізм зважування та повороту зливка розташований над рольгангом. Вантажопідйомність ваг 40 т, тривалість циклу зважування та повороту зливка на 180 ° становить 25 с. По рольгангу злиток надходить до робочої кліті в положенні «на ребро» для отримання при прокатуванні в горизонтальних валках необхідної ширини слябу та видалення окалини з широких граней зливка. Потім злиток кантують на 90 ° і ведуть прокатку при заданому режимі температури (в інтервалі 1250-1000 ° С), обтискання (до 70-80 мм за перепустку) і середньої швидкості (від 2,0 до 4,2 м / с).

Прокатка ведеться як по одному, так і по два зливки одночасно: ритм прокатки в першому випадку становить близько 100-140 с, у другому 150-200 с.

Робоча кліть має горизонтальні валки діаметром 1250 мм та довжиною бочки 2400 мм; кожен валок приводиться у обертання від індивідуального двоякорного електродвигуна постійного струму потужністю 2х3750 кВт із частотою обертання 45-80 об/хв; розчин валків до 2100 мм. Вертикальні валки діаметром 1000 мм та довжиною бочки 2300 мм розташовані за горизонтальними (по ходу прокатки) та мають також індивідуальний привід від двох електродвигунів постійного струму вертикального виконання

потужністю 2500 кВт та частотою обертання 60/110 об/хв кожен; розчин валків коливається не більше 750—2400 мм.

По обидва боки робочої кліти встановлені робочі та розкочувальні рольганги з діаметром роликів 600 мм і кроком 900-950 і 800 мм відповідно, що забезпечують швидкістю прокатки до 5 м/с. Привід всіх роликів робочих рольгангів здійснюється від індивідуального електродвигуна через зубчасту муфту. Привід розкочування рольгангів груповий - через трансмісійну кінчну передачу.

Маніпулятор забезпечений чотирма лінійками з сталевого лиття, розташованими перед робочою клітиною та за нею. Кожна з чотирьох лінійок має дві штанги, які спираються з боку рольгангу на опорні ролики, а з іншого боку – на бандажі шестерень приводу. Синхронізація лінійок перед і за механічною кліткою, за допомогою проміжного валу з зубчастими муфтами. Розчин лінійок становить 750-3300 мм, а швидкість їх пересування 0,6-1,2 м/с.

Кантувальник встановлений тільки за вертикальною кліткою і призначений для кантування злитка на 90° навколо його поздовжньої осі за допомогою чотирьох гаків, вмонтованих у лінійку маніпулятора. Час підйому гаків 2 с.

Після прокатки розкат подають до машини для вогневої зачистки гарячого металу (МОЗ) в потоці стану, в якій можуть бути зачищені всі чотири поздовжні грані, або дві широкі або дві вузькі (залежно від стану поверхні металу). Темпера-

туру металу, що зачищається 950—1150°C, глибина зачистки 0,8— 3 мм і швидкість 0,25—1,0 м/с.

Машина пересувна і може бути виведена за 50 з лінії стану (за період проходження гуркоту, що не вимагає зачистки, або для ремонту) в перпендикулярному напрямку; при цьому на місце машини встановлюють непривідний ролик.

Зачищений гуркіт по рольгангу надходить до ножиць гарячого різання, на яких обрізають кінці гуркотів, а також здійснюють різання гуркоту на мірні сляби. Ножиці ексцентрикового типу з паралельними ножами та з нижнім різом зусиллям 28 МН мають довжину ножів 2100 мм, хід ножів 450 мм; максимальне число різів за хвилину 5-8. Привід ножиць здійснюється від двох електродвигунів потужністю 1875 кВт кожен і частотою обертання 25/30 об/хв через циліндричний редуктор і універсальний шпindel, що з'єднується з ексцентриковим верхнім валом. Склад обладнання ножиць: зіштовхувач обрізу; відсувається рольганг; скребковий похилий конвеєр для збирання обрізків довжиною до 700 мм та масою до 2 т (швидкість транспортування до 0,1 м/с); пересувний упор; встановлений за ножицями і призначений для зупинки гуркоту при порізці його на мірні довжини (2500-10500 мм).

За ножицями сляби таврують як із зупинкою, так і без зупинки слябу. Пристрій складається з двох таврувальників, розташованих на загальному майданчику над рольгангом. Число клеймень 10 за хвилину; максимальна кількість клейм у комплекті 12. Зміна клейм ручна.

Після таврування готові сляби зважують на важелях вантажопідйомністю 40 т (кількість зважувань до 300 на годину) і передають по рольгангу до збиральних пристроїв, де сляби зіштовхувачем переміщують з рольгангу на штабелюючий стіл для укладання слябів в пакет, а потім візком (2) пакет слябів передають у поперечному напрямку або на склад слябів для охолодження, огляду та вибіркової зачистки, або до завантажувального пристрою нагрівальних печей безперервного широкосмугового стану гарячої прокатки.

Сляби по рольгангу можуть транспортуються (без проміжного підігріву) і безпосередньо до чорнових кліт широкополосового стану. На слябінгу передбачені засоби для прибирання скрапу та окалини. Стан обладнаний також системами змащення та охолодження механізмів та

машин, гідро- та пневмопристроями, електроприводами та системами комплексної автоматизації по окремих ділянках.

Проектна продуктивність слябінгу 1250 складає 6 млн. т на рік (за зливками), маса механічного технологічного обладнання 8850 т та сумарна встановлена потужність електрообладнання 40 400 кВт.

Блюмінги застосовують для прокатки блюмів та частково слябів (до 20-30% від усього сортаменту), тому горизонтальні валки робочої кліти виконують каліброваними з кількома калібрами, з яких один (широкий калібр) для прокатки слябів розташовують, як правило, посередині бочки валків.

На рис. 7.3 показана схема розташування обладнання блюмінгу 1300 конструкції УЗТМ, призначеного для прокатки блюмів перетином 300x300 - 350x450 (!) і слябів з 100-200 мм і шириною 700-1000 мм з злитків масою 8 - 14,5.

із швидкістю до 6 м/с.

Діаметр валків блюмінгу 1300 мм (бурти калібрів) і довжина бочки 2800 мм. Кожен робочий валок має індивідуальний привод від електродвигуна постійного струму потужністю 6800 кВт, 0—60—90 об/хв, з номінальним моментом 1,1 МН-м.

Обтискання злитка здійснюється за 9-13 реверсивних проходів. Для отримання блюмів застосовують зливки квадратного (або близького до нього) перерізу і в процесі обтискання злитка періодично його кантують на 90°. Так як кантувач розташовують на лінійці маніпулятора з передньої сторони табору, то кантівку здійснюють через 2-4 пропуски, тобто після парних проходів.

При прокатці на обтискних станах з метою збільшення продуктивності прагнуть застосовувати максимальні обтискання за кожну перепустку. Однак (90-120 мм). максимальне обтиснення при прокатуванні обмежується кутом захвату.максимальним

Для зачистки поверхні гарячих блюмів і слябів (видалення тріщин, закатів окалини та шлаку тощо) у потоці металу за робочою кліткою в лінії рольгангу встановлено машину для вогневої зачистки.

Ця машина призначена для зачистки на ходу, блюмів перетином до 380x450 мм і слябів шириною до 1000 мм і складається з двох кареток, які можуть переміщатися на катках по рейках перпендикулярно до напрямку рух металу. На каретках встановлені газорізальні головки з

пальниками. Під час руху блоків з пальниками до металу включається подача кисню та пального газу (ацетилену або природного газу), що спалахують від гарячого металу. На поверхні металу оплавляється і в цей момент включається подача кисню, у результаті здійснюється суцільна вогнева зачистка металу з усіх чотирьох сторін. Одночасно включається система для гідрозбиву шлаку, що утворюється водою високого тиску (3000 кПа). Газорізальні головки забезпечені щільними легко-замінними пальниками, розташованими під кутом 25° до поверхні металу. Якщо після прокатки зачищення блюмів і слябів не потрібно, обидві каретки відводяться від рольгангу на протилежні сторони за допомогою циліндрів. Режим роботи машини автоматизовано. При вогневій зачистці спалюється поверхневий шар металу товщиною 15-25 мм; втрати металу становлять 1-2,5%.

Слід зазначити, що на деяких блюмінгах за кордоном, що прокочують зливки з легованої сталі, замість машини для вогневої зачистки встановлені багаторізцеві фрезерні верстати для механічної зачистки (зняття стружки) гарячих блюмів.

За машиною для вогневої зачистки блюмів та слябів встановлені ножиці з нижнім різом зусиллям 12 МН. Щоб зменшити кількість немірних обрізків при різанні блюмів і слябів на мірні довжини (1200-6000 мм), ножиці керуються ЕОМ за допомогою датчиків виміру загальної довжини смуги до різання.

При різанні ножицями блюмів і слябів на мірні довжини обрізки від головної і хвостової частин становлять 10—15 % (за масою). При

продуктивності блюмінгу 450-600 т/год від ножиць необхідно забирати 50-80 т/год обрізків. Прибирання здійснюється конвеєром з безперервним завантаженням обрізків у суцільнометалеві залізничні платформи вантажопідйомністю до 100 т.

Ланцюговий скребковий конвеєр розташований поперек станового та скрапного прольотів. Приймальна частина конвеєра знаходиться в першому прольоті нижче рівня підлоги цеху, а похила розвантажувальна частина конвеєра — в скрапному прольоті із залізничним шляхом для платформ. За похилим жолобом у ножиць обрізки падають униз і потрапляють на приймальну плиту. Скребки, прикріплені до ланок бічних ланцюгів, переміщують гарячі обрізки масою до 1,5 т кожен по проміжних плит до розвантажувального жолоба, з якого падають обрізки безпосередньо в напівзакриту платформу.

Клеймування блюмів і слябів у торець після різання на ножицях здійснюється на ходу автоматичним важільним тавруванням з дистанційною зміною клейм. Клеймування обрізу також автоматизовано. Для цього перед ножицями встановлений дисковий таврувач, який безперервно наносить тавра на поверхню блюмів, що рухаються, або слябів на певному відрізку їх головної і хвостової частин. Після порізки на ножицях та їх таврування блюми по рольгангу направляються на подальшу прокатку (на безперервний заготівельний стан 900/700/500), а сляби (у кількості, що становить близько 10-15% від загальної продуктивності стану) стикаються штовхачем на штабелюючий стіл і потім передаються візком або краном на склад для охолодження та зачистки. Для обслуговування робочої кліти в становому прольоті встановлено мостовий кран важкого типу вантажопідйомністю 125 т.

Проектна продуктивність блюмінгу 1300 складає 6,0 млн. т на рік; масамеханічного обладнання 5500 т і загальна потужність головних електродвигунів стану 13600 кВт.

Одноклітинний реверсивний блюмінг 1500 виконаний за схемою розташування обладнання, аналогічною блюмінгу 1300, з відділенням нагрівальних колодязів та кільцевою злиткоподачею.

Головна лінія блюмінгу включає робочу кліть з діаметром валків 1500 мм (по буртах) та довжиною бочки валків 3550 мм з приводом від

2.2 Технології, методи розрахунку параметрів прокатки

Одним із основних показників, що дозволяють оцінити ефективність роботи того чи іншого прокатного стану, є питома витрата електричної енергії. Цей показник суттєво залежить від потужності та, отже, моменту прокатки. Крім того, момент прокатки значною мірою впливає на довговічність обладнання, встановлене в головних лініях прокатних станів (шпинделів, шестеренних клітей та ін.), а правильність розрахунку його значень дозволяє прогнозувати достовірні значення потужності головних електродвигунів. У зв'язку зі сказаним удосконалення методів розрахунку моменту прокатки має важливе науково-практичне значення.

Крутний момент, який необхідно прикласти до валків для забезпечення їх обертання при прокатці, найчастіше розраховують одним із методів: за контактною дотичною напругою або силою прокатки [1]. Перший метод розрахунку розроблений на основі припущення про рівномірний розподіл нормальних та дотичних напруг по контактній поверхні, у зв'язку з чим його застосування для умов прокатки на тонколистових станах обмежене. Для зазначених умов доцільно використовувати другий метод розрахунку, в якому вплив характеру розподілу тиску по дузі контакту штаби з валками враховується через коефіцієнт плеча сили прокатки. При цьому момент прокатки з натягом штаби визначається за формулою [1]:

$$M_{np} = P_{общ} \psi l_d + \frac{Q_0 - Q_1}{2} R,$$

де P – загальна рівнодіюча контактна сила;

ψ - коефіцієнт плеча сили прокатки;

l_d - довжина дуги контакту;

Q_0 і Q_1 - сили заднього та переднього натягу штаби, відповідно;

R - радіус валків.

Сила P , що входить у формулу (1), спрямована вертикально. Однак при тонко штабовій прокатці з натягом штаби сили може суттєво відхилитися від вертикалі, що призводить до помилок у розрахунку моменту прокатки. Крім того, як показано в роботах [2–4], в осередку деформації діє середньоінтегральна результуюча поздовжня сила металу, що пластично деформується $Q_{ср.пр}$, вплив якої на момент прокатки у розглянутих методах розрахунку не враховується. Водночас дія сили $Q_{ср.пр}$ призводить до того, що ступінь відхилення загального рівнодіючого P контактних сил від вертикалі збільшується, у зв'язку з чим помилка з розрахунку моменту прокатки за формулою (1) зростає.

У цьому дослідженні запропоновано визначати момент прокатки з натягом штаби, виходячи з рівнодіючих нормальних тисків. На рисунку 2.3 з урахуванням кута докладання цієї сили -1 та результуючої поздовжніх сил $Q_{ср.пр}$. Як видно з наведеного рисунка, сили N_x (N_x - Проекція сили N на напрям прокатки), $Q_{ср.пр}$ і Q_0 діють протилежно до напрямку прокатки і тому утворюють момент опору. Активні сили $T_{відс}$ - $T_{оп}$ ($T_{відс}$ і $T_{оп}$ – рівнодіючі питомих сил тертя в зонах відставання та випередження, відповідно) та Q_1 створюють момент прокатки та забезпечують стійкість процесу, долаючи момент опору. Стійкий процес прокатки забезпечується, якщо виконується така умова:

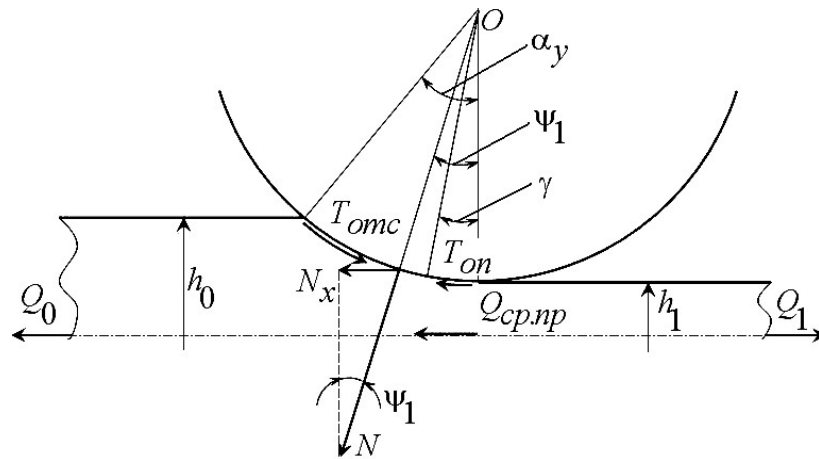


Рисунок 2.3 Схема чинних сил

$$2(T_{omc} - T_{on})R + Q_1 \left(R + \frac{h_1}{2} \right) = Q_{cp.pr} \left(R + \frac{h_1}{2} \right) + 2N_x \left(R - \frac{\Delta h_{\psi_1}}{2} \right) + Q_0 \left(R + \frac{h_1}{2} \right),$$

де h_1 - товщина штаби після пропуску;

h_{ψ_1} - абсолютне обтиснення штаби в перерізі, що відповідає куту ψ_1 програми рівнодіючої N у осередку деформації.

Активні сили, що входять до лівої частини рівняння (2), визначаються так:

$$T_{omc} - T_{on} = f_y p_{cp} R_c b (\alpha_y - 2\gamma), \quad Q_1 = \sigma_1 h_1 b,$$

де f_y - коефіцієнт тертя в процесі прокатки, що встановився;

p_{cp} - середній тиск металу на валки;

R_c - радіус валків, визначений з урахуванням їхнього пружного сплющування;

b - ширина полоси;

α_y - кут захоплення в процесі прокатки, що встановився;

γ - кут нейтрального перерізу, розрахований з урахуванням дії сил Q_0 і Q_1 , а також поздовжньої сили $Q_{cp.pr}$;

σ_1 - напруга переднього натягу.

Сили, що входять до правої частини рівняння (2) і перешкоджають процесу прокатки, розраховуються таким чином:

$$N_x = N \sin \psi_1 \approx p_{cp} l_c b \psi_1, Q_{cp.np} = Q_{cp.np}^* 2k_{cp} R b, Q_0 = \sigma_0 h_0 b,$$

де l_c - довжина дуги контакту, визначена з урахуванням сплющування валків;

$Q_{cp.np}^*$ - безрозмірна результуюча поздовжніх сил пластично деформованого металу, що розраховується згідно з роботами [2–4];

$2k_{cp}$ - середнє значення опору матеріалу штаби чистого зрушення;

σ_0 - напруга заднього натягу.

Так як $R \gg \Delta h_{\psi_1}$, можна записати, що $R - \Delta h_{\psi_1}/2 = R$. З урахуванням цього, а також рівнянь (3) і (4) умова стійкості процесу прокатки (2) перетворюється на вигляд:

$$\left(R + \frac{h_1}{2} \right) \left(Q_{cp.np}^* + \frac{\sigma_0}{2k_{cp}} \frac{h_0}{R} - \frac{\sigma_1}{2k_{cp}} \frac{h_1}{R} \right) + 2 \frac{p_{cp}}{2k_{cp}} l_c \psi_1 = 2 f_y \frac{p_{cp}}{2k_{cp}} R_c (\alpha_y - 2\gamma).$$

З виразу (5) знайдемо кут докладання рівнодіючого нормальних тисків:

$$\psi_1 = f_y \left(1 - \frac{2\gamma}{\alpha_y} \right) - \frac{2R + h_1}{4l_c} \frac{1}{p_{cp}/2k_{cp}} \left[Q_{cp.np}^* + \frac{\sigma_0}{2k_{cp}} \frac{h_0}{R} - \frac{\sigma_1}{2k_{cp}} \frac{h_1}{R} \right].$$

Як впливає з формули (6), зі збільшенням результуючої $Q_{cp.np}^*$ і заднього натягу штаби кут застосування рівнодіючої контактних тисків N зменшується. З посиленням режиму тертя та зростанням переднього натягу штаби цей кут, навпаки, збільшується. При цьому повний момент опору, який необхідно подолати валкам, з урахуванням натягу штаби, дії

результуючої поздовжніх сил в осередку деформації та того, що $R - \Delta h_{\psi_1}/2 = R$, визначається так:

$$M_{np.n} = \left(R + \frac{h_1}{2} \right) [Q_{cp.np} + Q_0 - Q_1] + 2N_x R.$$

З урахуванням рівнянь (3) і (4) вираз (7) перетворюється на вигляд:

$$M_{np.n} = 2k_{cp} R b \left\{ \left(R + \frac{h_1}{2} \right) \left[Q_{cp.np}^* + \frac{\sigma_0}{2k_{cp}} \frac{h_0}{R} - \frac{\sigma_1}{2k_{cp}} \frac{h_1}{R} \right] + 2 \frac{P_{cp}}{2k_{cp}} l_c \psi_1 \right\}.$$

Розрахуємо кут ψ_1 та визначимо величину моменту прокатки при деформації металу з натягом та з урахуванням результуючої поздовжніх сил $Q_{cp.np}^*$ в осередку деформації для умов, які наведені у роботах [5, 6], та порівняємо отримані дані з досвідченими. У книзі [5] М. М. Саф'яном представлені результати дослідження енергосилових та інших параметрів при гарячій прокатці листової сталі в чистовій групі клітин безперервного стану 1680. Для випадку прокатки тонкого листа поперечними розмірами 3x1400 мм зі сталі Ст 3кп, параметри якої наведені в табл. 2.1, розрахуємо згідно з методикою [3] епюри контактних і горизонтальних σ_x нормальних напруг, а також поточну поздовжню силу та знайдемо її середнє інтегральне результуюче значення в осередку деформації, що дозволить визначити кут ψ_1 та момент $M_{np.n}$. Результати розрахунків та дослідні дані показані в табл. 1, в якій Δ - розбіжність розрахункових і досвідчених значень моменту прокатки. Як очевидно з табл. 1, що результующа $Q_{cp.np}^* < 0$ по всіх клітинах чистової групи табору, тобто спрямована протилежно до руху штаби, з чого випливає, що процес прокатки відбувається стійко. Кут ψ_1 близький до кута нейтрального перерізу γ , що відповідає висновків А. А. Корольова, наведеним у [6]. Якщо врахувати, що дослідні значення моменту прокатки включають втрати на тертя в підшипниках валків, результати розрахунку $M_{np.n}$ загалом відповідають досвідченим даним.

Таблиця 2.1 - Параметри деформації, дослідні дані та результати розрахунку моменту прокатки штаби на стані 1680

№ кле- ти	h_1 , мм	R_c , мм	α_y , рад	f_y , -	$\frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$, -	$\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$, -	$Q_{ср.пр}^*$, -	$\frac{P_{ср}}{2k_{cp}}$, -	γ , рад	ψ_1 , рад	$M_{пр.л}$, кН·м		
											расчет	опыт	Δ , %
5	13,62	305	0,209	0,300	0	0,28	-0,0203	1,341	0,078	0,061	630	781	-24,0
6	8,33	305	0,131	0,235	0,28	0,20	-0,0006	1,030	0,037	0,073	410	385	6,1
7	5,61	342	0,089	0,185	0,20	0,14	-0,0028	1,160	0,030	0,054	297	270	9,1
8	4,28	367	0,059	0,180	0,14	0,23	-0,0025	1,170	0,025	0,015	136	157	-15,4
9	3,37	388	0,048	0,180	0,23	0,13	-0,0020	1,220	0,018	0,018	120	100	16,7
10	3,00	409	0,030	0,180	0,13	0,01	-0,0019	1,250	0,013	0,016	38,0	47,5	-25,0

Аналогічні розрахунки були виконані при аналізі дослідних даних холодної прокатки стрічки початковою товщиною 1,95 мм та шириною 30 мм, наведених у роботі [6]. У цих дослідах заднє та переднє натяги змінювалися в широких межах. Крім того, експеримент включав вимірювання нормального тиску, сплющеної довжини вогнища деформації, сили та моменту прокатки. Результати дослідів та теоретичних розрахунків наведено у табл. 2.2 (номера зразків відповідають роботі [6]).

Таблиця 2.2 - Результати розрахунків та досвідчені дані холодної прокатки з натягом штаб

№ об- разца	h_1 , мм	R_c , мм	α_y , рад	f_y , -	$\frac{\sigma_0}{2k_{cp}}$, -	$\frac{\sigma_1}{2k_{cp}}$, -	$Q_{ср.пр}^*$, -	$\frac{P_{ср}}{2k_{cp}}$, -	γ , рад	$2k_{cp}$, Н/мм ²	ψ_1 , рад	$M_{пр.л}$, Н·м		
												расчет	опыт	Δ , %
90	1,40	344	0,040	0,11	0,021	0	-0,0024	1,54	0,016	445	0,014	1550	1440	7,1
91	1,32	308	0,045	0,12	0,389	0	-0,0005	1,13	0,012	435	0,032	2650	2240	15,5
92	1,30	262	0,050	0,22	0,674	0	-0,0003	1,13	0,012	440	0,030	3050	2720	10,8
93	1,63	319	0,032	0,11	0,021	0	-0,0018	1,33	0,013	400	0,020	1240	1100	11,3
94	1,50	282	0,040	0,13	0,317	0	-0,0004	1,10	0,011	420	0,031	2740	3000	-9,5
95	1,36	325	0,043	0,13	0,015	0	-0,0034	1,74	0,017	435	0,021	2120	1760	17,0
96	1,35	249	0,049	0,13	0,015	0,370	-0,0024	1,32	0,024	440	0,010	1420	1120	21,1
97	1,32	346	0,043	0,11	0	0	-0,0027	1,65	0,017	445	0,016	1810	1600	11,6
98	1,30	254	0,051	0,13	0,280	0,080	-0,0014	1,27	0,016	445	0,027	2560	2500	2,3
99	1,20	231	0,057	0,24	0,668	0,289	-0,0007	1,18	0,016	450	0,023	2750	2300	16,3

З табл. 2 слідує, що розрахунковий момент $M_{пр.л}$ близький до дослідних даних. Практично у всіх випадках теоретичні значення моменту перевищують досвідчені. При суттєвому задньому натягу штаби (зразки 92 і 99) теоретично процес відбувається стійко тільки при жорсткому режимі

тертя ($f_y > 0,2$). Практично, у випадках, когда $\sigma_0/2k_{cp} = 0,3-0,7$ прокатка ведеться в граничних умовах (зразки 91, 92 і 94).

Стійкість процесу дещо підвищується, якщо до штаби доданий значний передній натяг (зразок 99). Ці висновки засновані на аналізі результуючої подовжних сил $Q^*_{cp.np}$. Важливо також наголосити, що при прокатці без натягу (зразок 97) частина моменту, пов'язана з силою $Q^*_{cp.np}$ (формула (8)), приблизно дорівнює половині від $2N_xR$, у зв'язку з чим впливом цієї сили на момент прокатки нехтувати не слід.

ВИСНОВКИ

Удосконалено метод розрахунку моменту при прокатці штаби з натягом, що враховує вплив результуючої подовжних сил металу, що пластично деформується. Результати порівняння дослідних та розрахункових даних показали, що запропонований метод може бути рекомендований для визначення моменту при прокатці з натягом штаби.

2.3 Методика експерименту та визначення параметрів процесу

Моделювання впливу натягу на параметри холодного прокатування

У наш час у зв'язку збільшенням цін на паливо всі підприємства, і металургійні в тому числі, або заміняють технології виробництва на менш енерговитратні, або оптимізують діючі. Для вибору оптимального натягу на станах холодної прокатки були виконані дослідження, за допомогою яких ми спробували з'ясувати, як впливає натяг на сумарну потужність прокатки.

Проведені дослідження показали, що натяг у різних умовах впливає по різному на сумарну потужність. Для того, щоб пояснити це роздивимося як впливає натяг на параметри холодної прокатки, від яких найбільшою мірою залежить сумарна потужність. Це такі параметри як: довжина дуги контакту і

повне зусилля прокатування.

Довжина дуги контакту у усіх випадках при застосуванні натяги зменшується. Це викликано тим, що натяг зменшує зусилля прокатування, що у свою чергу зменшує сплющення валків, перешкоджає пружному стиску і відновленню штаби, що істотно впливає на осередок деформації особливо при прокатуванні особливо тонких смуг. Але з'ясувалися і деякі особливості впливу натягу на цей параметр. Так, при прокатуванні тонких і особливо тонких смуг (0,2... 1мм) довжину дуги контакту в більшій мірі зменшує задній натяг. Це пояснюється тим, що при таких товщинах на осередок деформації робить більший вплив зусилля прокатування, що зменшується в більшій мірі від дії заднього натягу. При малих обтисненнях пружна деформація здійснює більший вплив на довжину дуги контакту. Особливо зона пружної деформації збільшується на виході з осередку деформації, де відбувається пружне відновлення штаби. Тому в даному випадку вплив переднього натягу на довжину дуги контакту зростає.

При прокатуванні наклепаного металу натяг викликає більше зменшення довжини дуги контакту, що пояснюється великим впливом пружних зон, що усуваються частково натягом, і великим зменшенням зусилля прокатування.

Отже, передній натяг у більшій мірі зменшує осередок деформації при прокатуванні більш товстої штаби і з меншими обтисненнями, тоді як задній натяг сильніше зменшує дугу контакту при прокатуванні тонких і особливо тонких смуг і при великих обтисненнях.

Зусилля прокатування у усіх випадках при використанні натяги зменшується. Причому задній натяг робить більш істотний вплив через те, що зона відставання при прокатуванні більше чим зона випередження. Також у більшій мірі натяг зменшує зусилля при прокатуванні тонких і особливо тонких смуг. При прокатці наклепаного металу даний ефект зростає (іноді натяг призводить до зменшення зусилля в 3-7 разів).

Сумарна потужність прокатування витрачається на пластичну деформацію (N_c) і на створення переднього (N_1) і заднього (N_0) натягів. І тому для аналізу енергетичної ефективності використання натягу при холодному прокатуванні роздивимося саме ці три розміри.

Проведені дослідження показали, що переднє і заднє натяги неоднозначно впливають на сумарну потужність. При прокатуванні штаби товщиною 2 мм з великими обтисненнями $\varepsilon = 40\%$, що натяги збільшують сумарну потужність. Причому якщо передній натяг збільшує її на 4-5 %, то заднє викликає збільшення до 30 %, а спільне використання і переднього і заднього натягу - до 40-45 %. При зменшенні товщини підкату ріст сумарної потужності менш значний. При товщині 0,4 мм передній натяг уже зменшує сумарну потужність, а при товщині підкату 0,3 мм і задній натяг викликає зменшення сумарної потужності. Це пояснюється тим, що при прокатуванні відносно товстих смуг для створення натягу необхідна велика потужність, що значно збільшує сумарну потужність. Ефект же від дії переднього натягу незначний, а задній натяг, навпаки, викликає істотний ріст потужності на валі двигуна. Ріст потужності на валі двигуна від дії заднього натягу при прокатуванні щодо товстих смуг викликаний тим, що при такій схемі прокатування зусилля зменшується незначно, що перекривається ростом плеча додатка цієї сили, а вплив на момент прокатування істотне і спрямовано воно у бік збільшення моменту. При прокатуванні тонких і особливо тонких смуг потужність для створення натягу незначна в порівнянні з потужністю, що витрачається на пластичну деформацію. У свою чергу, використання переднього і заднього натягу істотно зменшує зусилля, що призводить до значного зменшення і моменту прокатування, і потужності на валі двигуна, а через неї і на сумарну потужність.

При прокатуванні наклепаного металу ($\varepsilon_{пр} = 90\%$) вплив натягу трохи змінився. Дія переднього натягу по зменшенню енергосилових параметрів є ефективною, ефект зростає з зменшенням величини штаби. Це викликано тим, що при прокатуванні наклепаного металу повне зусилля значно

зменшується під дією натягу і також тим, що наклепаний метал більш тривкий. А так як при дослідженні аргументом є величина, що являє собою частину від межі текучості

$$n = \frac{q}{1,15\sigma_T}, \quad (2.3.1)$$

тому натяг при $n=\text{const}$ зростає в порівнянні з не наклепаним металом.

Задне і спільне натяги з енергетичної точки зору ефективно застосовувати при прокатуванні особливо тонких смуг товщиною 0,2-0,3 мм і менше, що пояснюється малою витратою енергії на створення натягу, навіть незважаючи на те, що межа текучості зросла. З іншого боку задне і спільне натягу значно зменшує зусилля (у 3-7 разів і більш), що призводить до значного зменшення сумарної потужності. При прокатуванні більш товстих смуг потужність, що витрачається на натяг, зростає, а зменшення зусилля не таке значне і тому сумарна потужність при використанні заднього і спільного натягу, коли прокочується товстий метал, може зростати на 70-80 %.

У результаті досліджень з'ясувалося, що при прокатуванні особливо тонких смуг із меншими обтисненнями ефективність використання натягу знижується. Така закономірність спостерігається і при прокатуванні наклепаного металу. Це можна пояснити тим, що при прокатуванні з малими обтисненнями потужність на валі двигуна менше, ніж при прокатуванні з великими обтисненнями і під впливом натягу вона зменшується незначно. Це зменшення не перекиває ріст потужності на створення натягу й ефективність його використання знижується.

При прокатуванні відносно товстих смуг із натягом сумарна потужність значно зростає при прокатуванні з малими обтисненнями. Це пояснюється тим, що для створення натягу потужність витрачається однаково що при малих обтисненнях, що при великих, а зусилля прокатування зменшується в більшому ступені при прокатуванні з великими

обтисненнями, тим самим викликаючи менший ріст потужності на валі двигуна або його зменшення.

Отже, за результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що натяг ефективно використовувати при прокатуванні особливо тонких смуг і з великими обтисненнями. При прокатуванні відносно товстих смуг і з малими обтисненнями натяг використовувати небажано. Але не можна забувати і той факт, що натяги впливають не тільки на зменшення потужності. Натяги служать також для зменшення зусилля прокатування, для поліпшення площинності штаби, що прокочується, для підвищення усталеності штаби у валках при прокатці. Тобто, ми маємо той факт, що з технологічної точки зору натяги усе ж необхідні. Тому дані дослідження можуть служити для оптимізації процесу холодного прокатування за рахунок зміни натягу.

У світі накопичений позитивний досвід по створенню математичних моделей процесу холодної прокатки чи окремих його параметрів, про що свідчать численні публікації в літературі. Однак основна частина опублікованих і математичних моделей, що одержали широку популярність, процесу холодної прокатки була виконана 15-30 років тому і до дійсного часу у визначеній мері застаріла. Крім того, багато хто з них мають недостатню точність і обмежену область застосування. Ці моделі виконавши свою роль і призначення на визначеному етапі розвитку науки, техніки і технології холодної прокатки, вже не в усьому задовольняють сучасним вимогам. Разом з тим, їхній подальший розвиток і удосконалювання з обліком тих нових знань про процес холодної прокатки, що були отримані в останні роки, представляється не тільки актуальним, але і доцільним.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень свідчать, що рівень та характер розподілення напружень тертя при прокатці оказує великий вплив на енергосилові, кінематичні, та температурні параметри процесу, причому з зменшенням товщини прокатуваної штаби цей вплив збільшується.

Після входу штаби в валки та утворення нормального осередку деформації умови руху істотно змінюються.

Швидкість руху будь-якої крапки, що знаходиться в осередку деформації можна розглядати як суму двох швидкостей – жорсткого переміщення зі швидкістю, рівній горизонтальному компоненту швидкості валка, і пластичного переміщення внаслідок деформації. У зв'язку з цим при розгляді кінематики осередку деформації становить інтерес положення часток металу, подовжня швидкість руху яких у даний момент дорівнює горизонтальному компоненту окружної швидкості валка.

Нормальні та дотичні сили (сили тертя) в цьому випадку діють на прокатуємий метал по усій дузі захвату. При цьому через прагнення металу деформуватися в напрямку найменшого опору контактні сили тертя діють на метал убік його руху не по всій дузі захоплення. Наприкінці дуги захоплення ці сили змінюють напрямок дії на протилежне.

Вертикальний переріз, у якому контактні сили тертя змінюють напрямок, називають нейтральним, а кут між радіусом, проведеним у крапку перетинання нейтрального перетину з дугою захоплення і лінією, що з'єднує центри валків, називають нейтральним кутом. Звичайно його позначають буквою γ .

Нейтральний кут при прокатці визначає положення нейтрального перерізу в осередку деформації та служить важливішою характеристикою кінематики процесу.

За допомогою нейтрального кута розраховують величину випередження, величину зон відставання та випередження, співвідношення швидкостей руху штаби та валків.

Разом з тим коректні моделі для прогнозування напружень контактної тертя та нейтрального кута при прокатуванні доки не створені. Відсутність такої моделі знижує точність та обмежує діапазон роботи спроможності математичних моделей процесу прокатки, гальмує удосконалювання й

інтенсифікацію, створення нових технологічних процесів і високопродуктивних сучасних прокатних станів.

2.4 Обробка та обговорення результатів дослідження

Одним з напрямків підвищення ефективності виробництва служить використання ресурсозберігаючих і удосконалених технологій, що дозволяють випускати продукцію з найменшими витратами.

Подальший розвиток прокатного виробництва холоднокатаних штаб нерозривно пов'язаний з необхідністю розширення сортаменту, підвищення якості та зниження собівартості готової металопродукції. Доцільно провести всебічний комплекс досліджень для підвищення показників технології та обладнання процесу холодної прокатки штаб.

Насамперед обладнання намотувально-натяжних пристроїв визначає рівень енергосилових параметрів, питому продуктивність, точність геометричних розмірів, наявність поверхневих дефектів, якість змотки рулонів.

На вхідній і вихідній сторонах неперервних станів холодної прокатки розташовані намотувальні пристрої. На неперервних станах намотувальні пристрої працюють без реверсу: на вхідній стороні — у режимі розмотування, на вихідній — у режимі намотування.

Намотування (розмотування) штаби повинно виконуватися з натягом штаби. Відсутність натягу вважається аварійним режимом через виникнення перекосу штаби й створення петлі.

Величина натягу впливає на якість металу. Прокатка повинна виконуватися з постійним значенням величини натягу, інакше з'являється повздожня різнотовщинність штаби. Для регулювання натягу штаби використовують системи прямого і непрямого регулювання. У системах прямого регулювання натягу виконується прямий, безпосередній замір зусиль натягу.

Найбільш поширеними є системи непрямого заміру натягу. У таких системах замірюється не само величина натягу, а величина, яка непрямо пов'язана з натягом.

У процесі намотування (розмотування) відбувається постійна зміна діаметру рулону. Зміна діаметру рулону при незмінній кутовій швидкості намотувальних пристроїв призводить до відповідної зміни зусиль натягу штаби. Виникає різниця швидкостей, яка викликає збільшення натягу. Якщо у цьому випадку швидкість обертання двигуна моталки залишити незмінною, то збільшення лінійної швидкості рулону швидко призведе до критичного зростання зусиль натягу та обриву штаби.

Тому необхідне зменшення кутової швидкості моталки таким чином, щоб швидкість намотування штаби дорівнювала швидкості виходу металу з валків останньої кліті.

Системи керування приводів намотувально-розмотувальних й натягувальних механізмів повинні забезпечувати два режими роботи: регулювання частоти обертання двигуна й регулювання натягу штаби. Перший режим є допоміжним й не має жорстких вимог до якості регулювання. Цей режим слугує для заправки штаби, її транспортування без натягу, обмеження частоти обертання двигуна при обриві штаби. У режимі регулювання натягу необхідно забезпечити:

- синхронізація по швидкості приводанамотувально-розмотувальних механізмів й привода валків кліті стана;
- діапазон регулювання швидкості у режимі підтримання натягу не більше 1:50 (визначається добутком кратності швидкості прокатки 10.20 на кратність зміни діаметру рулону 1,5. 4,0);
- діапазон регулювання натягу для різних станів 1:5. 1:20, у деяких випадках 1:50;
- точність підтримання незмінності натягу у сталому режимі 3.12%;
- точність підтримання незмінності натягу у динамічному режимі 3.8%;

-час відпрацювання східчастого завдання натягу не більше 0,2 с з перерегулюванням не більше 10%;

-регульоване перевищення лінійної швидкості барабана над швидкістю штаби при заправці у межах 0 . 30%;

-обмеження перевищення швидкості барабану при обриві штаби на максимальній швидкості 5%, на заправній швидкості — 15%, з подальшою зупинкою привода.

Проведені дослідження показали, що переднє і заднє натяги неоднозначно впливають на сумарну потужність. При прокатуванні штаби товщиною 2 мм з великими обтисненнями $\varepsilon = 40\%$, що натяги збільшують сумарну потужність. Причому якщо передній натяг збільшує її на 4-5 %, те заднє викликає збільшення до 30 %, а спільне використання і переднього і заднього натягу - до 40-45 %. При зменшенні товщини підкату ріст сумарної потужності менш значний. При товщині 0,4 мм передній натяг уже зменшує сумарну потужність, а при товщині підкату 0,3 мм і задній натяг викликає зменшення сумарної потужності. Це пояснюється тим, що при прокатуванні відносно товстих смуг для створення натягу необхідна велика потужність, що значно збільшує сумарну потужність. Ефект же від дії переднього натягу незначний, а задній натяг, навпаки, викликає істотний ріст потужності на валі двигуна. Ріст потужності на валі двигуна від дії заднього натягу при прокатуванні щодо товстих смуг викликаний тим, що при такій схемі прокатування зусилля зменшується незначно, що перекривається ростом плеча додатка цієї сили, а вплив на момент прокатування істотне і спрямовано воно у бік збільшення моменту. При прокатуванні тонких і особливо тонких смуг потужність для створення натягу незначна в порівнянні з потужністю, що витрачається на пластичну деформацію. У свою чергу, використання переднього і заднього натягу істотно зменшує зусилля, що призводить до значного зменшення і моменту прокатування, і потужності на валі двигуна, а через неї і на сумарну потужність.

2.5 Пропозиції та заходи щодо вдосконалення процесу, технології, обладнання.

Подальший розвиток прокатного виробництва холоднокатаних штаб нерозривно пов'язаний з необхідністю розширення сортаменту, підвищення якості та зниження собівартості готової металопродукції.

Насамперед обладнання намотувально-натяжних пристроїв визначає рівень енергосилових параметрів, питому продуктивність, точність геометричних розмірів, наявність поверхневих дефектів, якість змотки рулонів.

Натягнення впливає на процес холодної тонколистової прокатки визначаючи його деформаційні (або геометричні), кінематичні і енергосилові параметри. Ці параметри тісно пов'язані з показниками ефективності процесу прокатки в цілому. Тому важливою теоретичною і технологічною задачею є детальне дослідження залежності енергосилових параметрів від натягнення штаби при холодній прокатці.

Найбільш вагомими недоліками на стані 1680 холодної прокатки це:

На стані в цей час недостатнє охолодження і змащення валків різко звужує його можливості, як по продуктивності, так і якості металу.

Відсутні найпростіші очисні спорудження, тому для очищення емульсії використовується її відстій у робочому баку (робочий обсяг бака всього 35 м³) за час рециркуляційного циклу (4-8 хв). Цього часу зовсім недостатньо для ефективного очищення емульсії - відстоюванням.

Слід зазначити, що при прокатці на безперервному чотирикільтовому стані «1680» важких рулонів коливання технологічних параметрів по довжині штаби, істотно нижче в порівнянні із прокаткою зварених рулонів тієї ж маси. У цьому випадку варто очікувати збільшення прокатування важких рулонів.

При прокатці штаб на стані контроль форми штаб, здійснюється візуально в результаті відсутності на стані пристроїв і приладів для контролю площинності штаб.

Найбільш розповсюдженими способами керування поперечним профілем і формою холоднокатаних штаб на станах із клітями “кварто” є верстатне і теплове профілювання валків, гідровигин валків.

Досвід роботи сучасних станів холодної прокатки свідчить про те, що для регуляції площинності штаб, успішно використовуються комбіновані пристрої гідровигину, які включають пристрій противигину робочих валків і пристрій їхнього додаткового вигину з безперервною регуляцією зусиль від противигину до додаткового вигину.

Використання систем автоматичної регуляції профілю й форми штаби, які включають стресометричні ролики, пристрої гідровигину й інші засоби впливу на форму штаб, дозволяють підвищити площинність штаб на 10-20%, забезпечивши при цьому її стабільність на 95% довжини штаби.

Привод натискних гвинтів стана електромеханічний з малою швидкістю. І не завжди натискні гвинти стана, при прокатці різновисинного гарячекатаного підкату, встигають забезпечити одержання однакової товщини холоднокатаного металу відповідно до замовлення.

Заміна робочих валків на стані виконується за допомогою спеціальної муфти електромостовим краном. На цю операцію витрачається 15 хвилин на одну кліть, що становить близько 30 тонн прокату.

Одним з недоліків електромеханічних НМ є їх велика інерційність: час розгону до максимальної швидкості не вдається зробити менше $0,5 \div 1,0$ с, а точність установки гвинтів - більше $\pm 0,02$ мм Швидкістю та точність гідравлічних натискних механізмів (ГНМ) значно вище.

Складаються ГНМ з двох гідроциліндрів, розташованих під підп'ятниками натискних гвинтів або під нижніми подушками. Положення плунжерів щодо циліндрів контролюється датчиком ходу . Датчик тиску в гідроциліндрі може служити для виміру зусилля прокатки. Робоча рідина

(мінеральне масло) подається в гідроциліндри по трубопроводу через сервоклапан насосом. Управління ГНМ проводиться мікропроцесором .

Завдяки ГНМ з'являється можливість компенсації ефекту «спливання» опорних шийок валків, коли вони встановлені на ГДП. т. як. товщина масляної плівки в ГДП залежить від частоти обертання і зусилля прокатки, вимірюючи частоту тахометром і зусилля прокатки датчиком 4, можна використовуючи закладені у пам'яті мікропроцесора залежності, виробити відповідну керуючий вплив на сервоклапан .

Однак головним призначенням ГНМ є компенсація змін пружної деформації робочої кліті від зміни зусилля прокатки з метою отримання листів з високою точністю по товщині.

Відсутня система узгодження швидкостей прокатки суміжних клітей.

Відсутня система контролю й регулювання натягу штаби.

Конструкція моталок застаріла і не забезпечує якості змотки штаб товщиною менш 2мм.

Після змотки на моталках рулони транспортують у вертикальному положенні. Що призводить до руйнування кромки.

Недостатня потужність оперативного регулювання лінійок перед моталками.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Пластична деформація металу при прокатці здійснюється в результаті спільної силової, фрикційної, пружно-пластичної, теплової та кінематичної взаємодії штаби з валками [1, 2]. Кількісним заходом цієї взаємодії є сила прокатки. У випадках, коли процес прокатки реалізується без впливу зовнішніх сил на штабу, рівень сили прокатки визначається механічними та реологічними властивостями металу, що деформується, коефіцієнтом тертя, а також деформаційними та температурношвидкісними умовами прокатки. Якщо на штабу в процесі прокатки діють зовнішні сили у вигляді натягу чи підпору, рівень сили прокатки істотно змінюється. Під дією натягу або підпору в перерізах входу та виходу вогнища деформації з'являються додаткові поздовжні розтягувальні або підпірні напруги, які призводять відповідно до зменшення або збільшення сили прокатки. Тому натяг або підпірка стають невід'ємними параметрами процесу штабової прокатки [1–3].

Холодна прокатка призначена для отримання тонкого плоского прокату товщиною зазвичай 0,8 ... 1,2 мм і менше, що відрізняється високими показниками якості і має підвищений попит [4]. Відмінною особливістю даного процесу є те, що пластична деформація металу валками здійснюється завжди з натягом і режими натягу, поряд з режимами обтискань є найважливішими елементами технології холодної прокатки. Величина відносних натягів q/σ_m (де q, σ_m – напруження натягу та межа плинності матеріалу штаби, Н/мм²) при холодній штабовій прокатці знаходяться в межах від 0,10...0,15 до 0,30...0,45 і зазвичай не перевищують 0,5 [2]. Натяг зменшує контактну напругу та силу прокатки, сприяють вирівнюванню витяжок по ширині, а також зменшенню неплоскостності та різнотовщинності штаби. З цієї причини натяг використовується як канал впливу на товщину, профіль і форму (плоскостність) штаби в системах автоматичного регулювання САРТ, САРН (САРТіН) та САРПФ, якими оснащені сучасні

стани холодної прокатки [5–7]. Порівняно недавно було теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що натяг при холодній прокатці робить також суттєвий вплив на рівень споживаної потужності (питома витрата енергії) і є невикористаним досі резервом для підвищення енергетичної ефективності процесу [8–11].

З викладеного випливає, що використання можливостей натягу для зменшення різнотовщинності та поліпшення площинності холоднокатаних штаб, а також зменшення споживаної потужності (питомої витрати енергії) при холодній прокатці передбачає наявність точної інформації про силу прокатки. Це логічно, оскільки сила прокатки, як інтегральна характеристика взаємодії штаби з валками, що обертаються, відображає спільний кількісний вплив усіх технологічних параметрів процесу холодної прокатки. Крім того, використання сили прокатки в якості каналу впливу на параметри точності штаб, що прокочуються в системах САРТ, САРН (САРТиН) і САРПФ, а також як критерій енергетичної ефективності процесу холодної прокатки доцільно ще й тому, що сьогодні найбільш точні і надійні експериментальні дані про технологічні параметри на промислових станах холодної прокатки отримують практично тільки про силу прокатки.

Досвід показує, що використання апарату сучасної теорії холодної прокатки [1, 2] забезпечує прогнозування основних технологічних параметрів даного процесу із задовільною точністю та надійністю [12]. Однак для цього необхідна точна та надійна інформація про вихідні дані процесу, що надходить у реальному масштабі часу, або з випередженням. Виконання цього завдання можливе, але важко здійснити у виробничих умовах. Тому інформація про вихідні дані на багатьох діючих станах зазвичай не надходить. Виходячи з цього та враховуючи стохастичний характер зміни вихідних даних, слід зазначити, що реальний процес холодної прокатки на промислових станах характеризується значною нестабільністю технологічних параметрів, у тому числі й сили прокатки. Це знижує ефективність роботи відповідних систем регулювання та управління. Тому

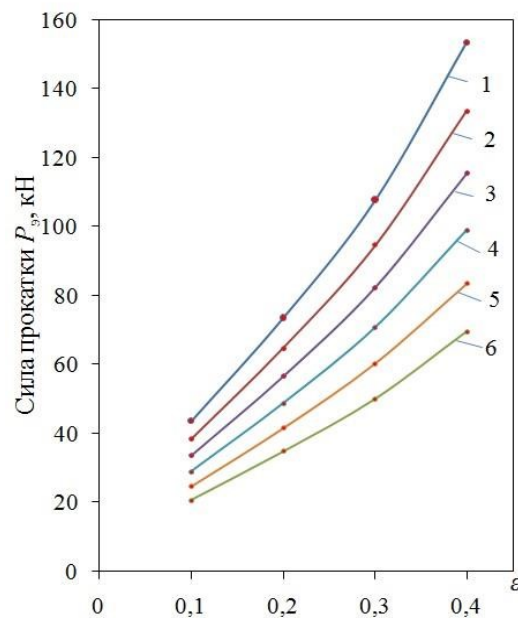
отримання експериментальних даних про силу прокатки з урахуванням впливу натягу є актуальним.

В роботі проводили експериментальне дослідження впливу натягу на силу прокатки та побудова експериментальних кривих пластичності при холодній прокатці з натягом. Експериментальні дослідження про вплив натягу на силу прокатки P_e проводили на двовалковому стані 200, встановленому в лабораторії кафедри МЕТЕТБ ЗНУ (м. Запоріжжя, Україна). Для реалізації процесу холодної прокатки з натягом стан 200 був оснащений експериментальною установкою, що дозволяє змінювати переднє та заднє відносне натягіння q/σ_m (де q, σ_m – напруга натягу та межа плинності матеріалу штаби) при прокатці в межах від 0 до 0,5. При проведенні експериментів у робочу кліть стану 200 були встановлені валки спеціальної конструкції зі сталі 9ХФ, з малою довжиною бочки L ($L = 44,5$ мм), що дозволило виключити вплив вибою вільних ділянок бочок валків на силу прокатки. Твердість і шорсткість поверхні бочок валків становили відповідно 92–95 HSD та $R_a = 0,6$ мкм. Прокочували штаби $0,5 \times 20$ мм із відпаленої сталі 08кп зі швидкістю 0,148 м/с без застосування технологічного змащення з приватними відносними обтисканнями ε та відносними натягами q/σ_m , Рівними відповідно 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 та 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5. В ході експериментів вимірювали товщину і ширину зразків (штаб) до та після прокатки з точністю 0,01 мм, а також випередження, натяг та силу прокатки. При одній установці валків, тобто для кожного обтискання та натягу, прокочували по 5 зразків. Перед прокаткою кожної серії зразків валки та штаби ретельно знежирювали ацетоном.

Крива зміцнення σ_{TE} сталі 08кп конкретного складу, тобто. матеріалу прокатуваних штаб, була побудована за даними випробування зразків на розтяг з різним ступенем попереднього наклепу ε_{Σ} ($\varepsilon_{\Sigma} = 0,05 \dots 0,80$) та апроксимована рівнянням:

$$\sigma_{TE} = 260 + 34,6 (100\varepsilon_{\Sigma})^{0,6}$$

Результати експериментального визначення сили прокатки P_e , заднього Q_0 і переднього Q_1 натягу оброблялися статистично за стандартними програмами. Отримані після статистичної обробки експериментальні дані про середньостатистичні значення сили прокатки P_e , сил заднього Q_0 та переднього Q_1 натягу були використані для визначення фактичних величин відносних задніх q_0/σ_{m0} (де q_0, σ_{m0} – напруга натягу та межа плинності матеріалу штаби на вході у осередку деформації) та передніх q_1/σ_{m1} (де q_1, σ_{m1} – напруга натягу та межа плинності матеріалу штаби на виході з осередку деформації) натягу. За цими даними були побудовані експериментальні залежності $P_e = \varphi(\varepsilon)$ (де ε – відносне обтиснення) і $P_e = \varphi(h_1)$ (де h_1 – товщина штаби на виході з осередку деформації) при холодній прокатці з одним переднім, з одним заднім і з двома однаковими відносними натягами. На рис. 1, як приклад, наведено експериментальні криві $P_e = \varphi(\varepsilon)$, зафіксовані при прокатці з двома однаковими відносними натягами ($q_0/\sigma_{m0} = q_1/\sigma_{m1}$).



1 – $q_0/\sigma_{m0} = q_1/\sigma_{m1} = 0$; 2 – те саме 0,1; 3 – те саме 0,2; 4 – те саме 0,3; 5 – те саме 0,4; 6 – те ж 0,5

Рисунок 3.1 . Експериментальні залежності $P_e = \varphi(\varepsilon)$, побудовані за результатами прокатки з двома однаковими відносними натягами

Залежність $P_e = \varphi(\varepsilon)$, отримано при прокатці з одним переднім та з одним заднім відносним натягом якісно збігаються з представленими на рис. 1 кривими. Вони від них лише кількісно.

З рис. 1 видно, що із збільшенням рівня відносних натягувань сила прокатки зменшується. При $q_0/\sigma_{m0} = q_1/\sigma_{m1} = 0,5$ зменшення сили (крива б) проти прокаткою без натягу (крива 1) становить 50...53%. При прокатці з одним переднім і з одним заднім натягом в умовах деформації зафіксовано практично однакове, але більш скромне (приблизно на 30 ... 33%) зменшення сили прокатки.

На рис. 2 наведено порівняння результатів експериментального та теоретичного дослідження сили прокатки з натягом. Розрахунок сили прокатки з натягом проводили за методикою [13], під час створення якої було враховано останні досягнення сучасної теорії холодної прокатки [1, 2]. Як випливає з рис.2 розбіжності між розрахунковими та експериментальними даними не перевищує 6...9 %, що свідчить про задовільну точність прогнозування сили прокатки з натягом.

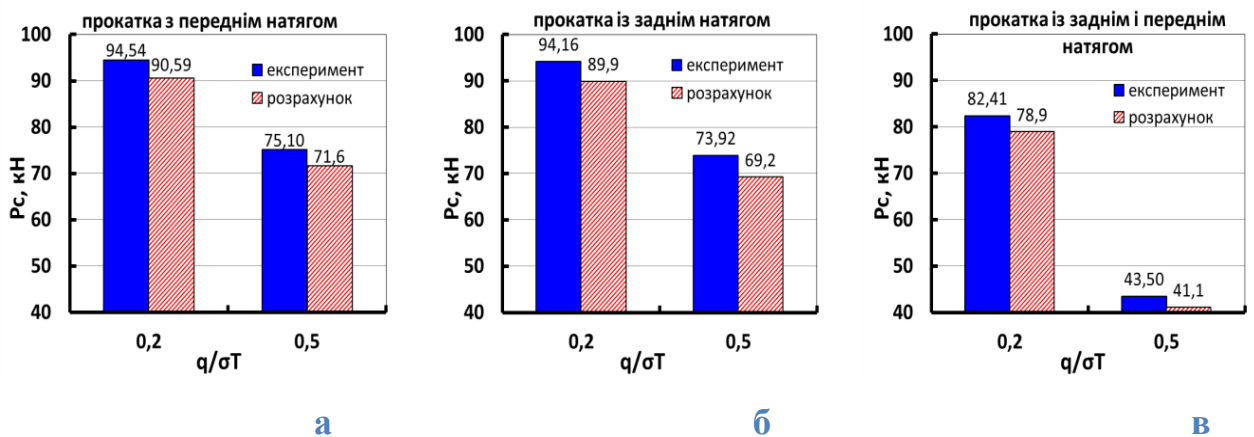


Рисунок 3.2 Порівняння результатів експериментального та теоретичного дослідження сили прокатки з натягом

Робочі кліті прокатних станів не є ідеально жорсткими і товщина штаби на виході з осередку деформації h_1 (мм) залежить від рівня сили

прокатки P (МН) та модуля жорсткості робочої кліти $M_{кл}$ (МН/мм). Тому однозначне визначення величин h_1 і P здійснюється в результаті розв'язання системи [3,5,7,14]:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= S_0 + P/M_{кл} \\ P &= \varphi(h_1) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де S_0 - зазор між валками до прокатки, мм

Перше рівняння системи (2), відоме під назвою "рівняння пружної лінії кліти" виражається практично прямою лінією. Рівняння $P=\varphi(h_1)$ називають рівнянням пластичної деформації, а графічні залежності, побудовані за цим рівнянням – кривими пластичності. Відношення $P/M_{кл}$ чисельно і пружної деформації кліти $\delta_{кл}$ у мм. При $h_1=\delta_{кл}S_0=0$. У випадках, коли $h_1<\delta_{кл}$ зазор між валками набуває від'ємних значень і процес прокатки здійснюють у попередньо притиснутих валках силою $P_з$ (де $P_з$ - сила «забою» валків, МН). Тоді система (2) записується у вигляді [7,14]:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= (P - P_з)/M_{кл} \\ P &= \varphi(h_1) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Основні труднощі під час вирішення систем (2) і (3) пов'язані з рішенням рівняння $P=\varphi(h_1)$. Взаємозв'язок сили прокатки $P_з$ товщиною штаби h_1 є складною функцією, яка залежить від багатьох параметрів (товщини, ширини та межі плинності вихідної заготовки, обтиснення, коефіцієнта тертя, радіуса робочих валків, натягу, температури деформації, швидкості прокатки та інших факторів) і виражається графічно кривою лінією, вид якої показано на рис.3.

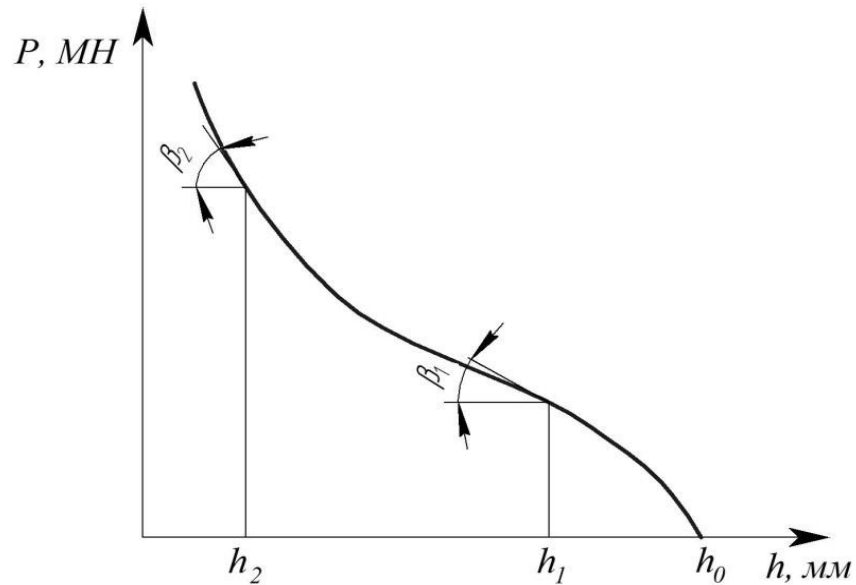
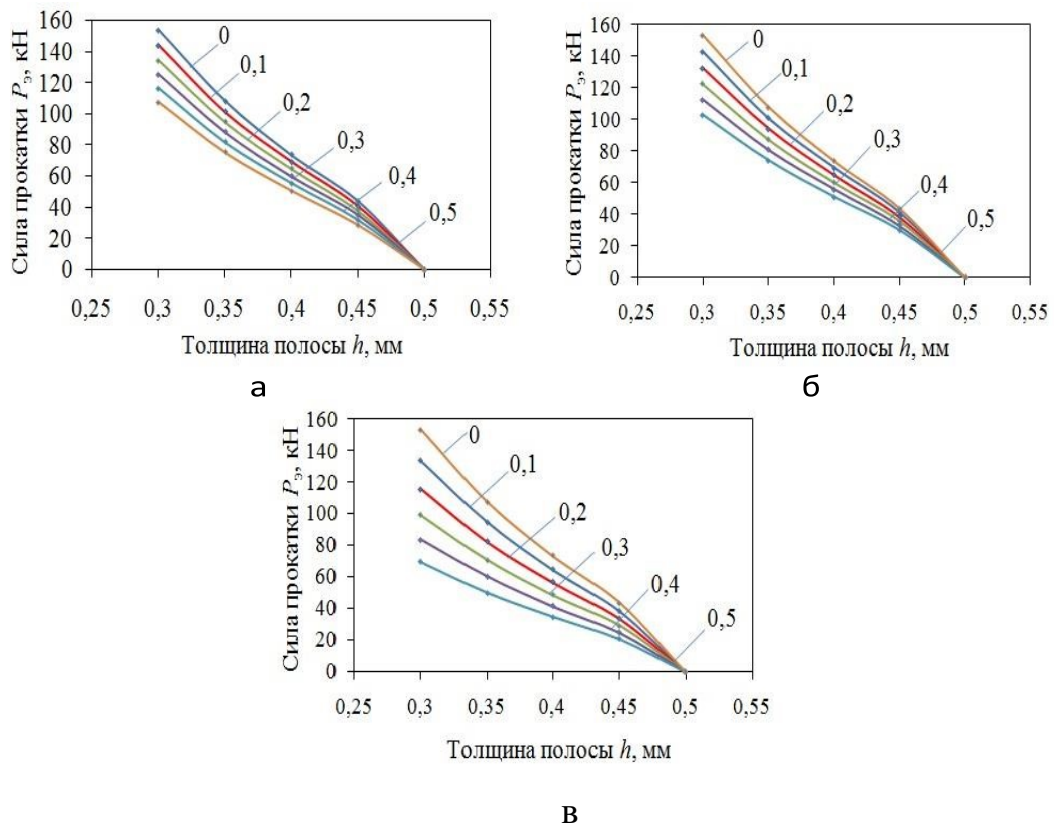


Рисунок 3.3 Графічне рішення рівняння пластичної деформації ($P=\varphi(h_1)$)

Тангенс кута нахилу β дотичної до кривої пластичності (рис. 3) являє собою модуль жорсткості штаби M_n ($M_n = \Delta P / \Delta h$). Модуль жорсткості штаби – це сила прокатки, що викликає зміну кінцевої товщини штаби на 1 мм. За аналогією з $M_{кл}$, M_n вимірюється в МН/мм. Як впливає з рис. 3 модуль жорсткості штаби величина непостійна. Він збільшується зі збільшенням деформації штаби ($\beta_2\beta_1$) та його значення змінюються у межах від 4 до 200 МН/мм.

Великий вплив на модуль жорсткості штаби має натяг при прокатці. Тому побудова кривих пластичності при холодній прокатці з урахуванням впливу натягу є актуальним завданням. Побудову кривих пластичності при холодній прокатці з урахуванням впливу натягу здійснюють зазвичай розрахунковим шляхом, оскільки отримання експериментальних залежностей $P=\varphi(h_1)$ на промислових станах пов'язано з великими організаційно-технічними труднощами. Однак при теоретичній побудові кривих пластичності оцінити кількісно точно комплексний вплив натягу на силу прокатки важко, оскільки багато моделей і рішень, що використовуються для цієї мети, є наближеними. У цьому сенсі кращим і більш точним є побудова

кривих пластичності при холодній прокатці з урахуванням впливу натягу за експериментальними даними, отриманими в лабораторних умовах. Заповненню цього пропуску можуть сприяти отримані під час виконання цієї роботи результати. На рис. 4 представлені експериментальні криві пластичності $P_e = \varphi(h_1)$, побудовані за даними холодної прокатки штаби товщиною 0,5 мм на стані 200 з одним переднім (а), одним заднім (б) та з двома однаковими (в) відносними натягами. Для порівняння на цих рисунках показано також експериментальні криві пластичності $P_e = \varphi(h_1)$, отримані при прокатці без натягу ($q_0/\sigma_{m0} = q_1/\sigma_{m1} = 0$).



а- $q_0/\sigma_{m0}=0$; $q_1/\sigma_{m1}\neq 0$; б- $q_0/\sigma_{m0}\neq 0$; $q_1/\sigma_{m1}=0$; в- $q_0/\sigma_{m0}=q_1/\sigma_{m1}$; (цифри у кривих відповідають значенням q/σ_m)

Рисунок 3.4 Експериментальні криві пластичності при холодній прокатці з натягом при прокатці штаби зі сталі 08кп завтовшки 0,5 мм без мастила:

З рис. 4 видно, що всі експериментальні залежності $P_e = \varphi(h_l)$, незалежно від рівня та співвідношення відносних натягів при холодній прокатці, виражаються однотипними плавними кривими, що є непрямим підтвердженням задовільної точності експериментальних даних, використаних для їх побудови.

Експериментальні криві пластичності відрізняються між собою лише кількісно.

Висока стабільність та однаковий характер зміни експериментальних кривих пластичності при холодній прокатці з натягом свідчить про те, що саме натяг при холодній прокатці є одним з основних стабілізуючих факторів процесу і підтверджує доцільність його застосування як каналу для ефективного впливу на товщину штаби, а також на профіль та форму активної утворюючої робочих валків у системах САРТ, САРТин та САРПФ на штабових станах холодної прокатки.

ВИСНОВКИ

1. З використанням спеціальної лабораторної установки було виконано експериментальне дослідження впливу натягу на силу прокатки P_e при холодній прокатці штаби товщиною 0,5 мм із сталі 08кп без мастила з приватними відносними обтисканнями ε від 0 до 0,4 у діапазоні зміни рівнів та співвідношення переднього та заднього відносних натягів q/σ_m 0 до 0,5. За результатами виконаного дослідження були побудовані експериментальні залежності $P_e = \varphi(\varepsilon)$ та криві пластичності $P_e = \varphi(h_l)$ при холодній прокатці з натягом.

2. Встановлено, що в порівнянні з холодною прокаткою без натягу при реалізації процесу з двома однаковими відносними натягами, рівними 0,5, сила прокатки зменшується на 50...53%. При прокатці з одним заднім або одним переднім відносним натягом, рівним 0,5, зафіксовано практично однакове, але менше (приблизно на 30...33%) зменшення сили прокатки.

3. Експериментальні криві пластичності незалежно від рівня та співвідношення відносних натягів при холодній прокатці мають однаковий

плавний характер зміни та відрізняються між собою лише кількісно. Це свідчить про те, що натяг є одним з основних стабілізуючих факторів процесу холодної прокатки та підтверджує доцільність його застосування як каналу впливу на товщину, профіль та форму штаби у відповідних системах автоматичного регулювання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Аналіз потенційних небезпек і шкідливих факторів виробничого середовища

Відповідно до ДСТУ 12.1.005-88 ТШП-1 відноситься до категорії Пб, оскільки енерговитрати робітника становлять приблизно 178 ккал/год. У безперервному стані холодної прокатки «1700» відсутні шкідливі фактори, такі як теплове випромінювання та вібрація. На стані безперервної холодної прокатки «1700» ми використовуємо безперервний процес прокатки, при якому метал потрапляє відразу в усі кліті, що скорочує час процесу прокатки і кількість допоміжних операцій, а отже, знижує можливий травматизм.

Щ1700 Варто відзначити, що умови роботи тандемного стану холодної прокатки є більш складними, оскільки його робоча зона знаходиться близько до прокатного стану та немає закритого захисту машинного відділення. У зв'язку зі збільшенням різноманітності мастильних матеріалів, необхідних для високошвидкісних процесів, повітря в робочих приміщеннях може містити низько- і високомолекулярні жирні кислоти, чадний газ, хлор і масляні аерозолі. Для цього безперервний стан холодної прокатки 1700 потребує місцевої витяжної вентиляції та системи вентиляції. Засоби безпеки на станах холодної прокатки повинні захищати працівників від високого рівня шуму (екрани, звукоізоляційні диспетчерські) і запобігати можливостям. Щоб уникнути травм, слід виключити всі ручні завдання або інші умовні операції. Можуть бути травми через виліт рулону тощо. Частково через неякісний метал і порушення техніки підготовки валків вони можуть бути пошкоджені, що призведе до травмування працівників. Ролики та їхні помічники повинні дотримуватися деяких правил безпеки.

В першу чергу це стосується робіт, пов'язаних з перебуванням працівників поблизу заводських робочих приміщень: перенесення,

прибирання, очищення емульсійних збірників. Варто змити з клітки залишки масла або лосьйону, покласти на дно дошку і почати працювати. Перед запуском прокатного стану необхідно переконатися, що в небезпечній зоні поблизу прокатного стану нікого немає і кнопка аварійної зупинки діє. Біля ліжка не повинно бути обривів і частин грядки. Проходи повинні бути вільними, а підлога повинна бути сухою, чистою та вкритою гофрованим металевим листом. Необхідно перевірити наявність захисних кожухів, що заземлюють двигуни та обладнання, а також огорож, стелажів, приймальних підставок, рухомих і обертових кріплень.

Травматичні роботи при підйомі та транспортуванні рулонів на візку;

Навантаження останнього не повинна бути вище бортів. Під час підймання та зняття барабана працівники повинні стояти збоку від автомобіля.

Пари мастильно-охолоджувальних рідин можуть подразнювати слизову оболонку верхніх дихальних шляхів.

На дільниці безперервної холодної прокатки «1700» внаслідок роботи обладнання рівень шуму підвищився на 105 дБ порівняно з 80 дБ, встановленими ДСТУ 12.1.003-83. [] Встановлено такі ГДК для повітряного пилу на робочих місцях. При наявності пилу, що містить понад 70% вільного кремнезему (Si₂) - 1 мг/м³; від 10% до 70% - 2 мг/м³. Для азбестового та змішаного пилу, що містить більше 10% азбесту - 2 мг/м³.

Відповідно до карти оцінки факторів виробничого середовища керівні посади та оператори прокатних цехів мають право на отримання пенсій, як зазначено в таблиці 1 (одночасно впливають два фактори 3 рівня), а також відпустки тривалістю 11 днів.

Оцінка шкідливих факторів виробничого середовища та трудового процесу наведена в таблиці 4.1

Примітка: Категорія важкості праці (легка, середня, важка)

Категорія інтенсивності праці (низька, середня інтенсивність, дуже інтенсивна)

Таблиця 4.1 Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу (професія - вальцювальник)

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. зн. (ПДК, ПДУ)	Фактич. знач.	III клас- шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора %, за зміну
				Iст.	IIст.	IIIст.	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	шкідливі хімікати мг/м ³						
	I клас безпеки						
						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,014	1,4			90
	II клас безпеки						
	Моноетаноламін	0,5	1,64		3,2		90
	Кислота сірчана	1,0	3,1		3,1		
	Етилмеркаптан	1,0	1,42	1,42			
	III - IV клас безпеки						
	Аміак	20,0	25,7	1,3			90
	Масла мінеральні	5,0	26,5		5,3		90
	Етиленглицоль	5,0	7,8	1,56			90
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4,0	17,5		4,4		90
3	Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4	Шум, дБА	80	105			25	100
5	Мікроклімат у приміщенні: (тепл. період)	27	32,1	-	5,1	-	100
	- температура повітря, С	0,5	0,12	-	-		100
	- температура повітря, С ⁰	40-60	-	-	До 25		100
	- швидкість руху повітря, м/с						
	- відносна вологість повітря, %						
6	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	411		411		83

4.2 Заходи захисту від небезпечних і шкідливих факторів

4.2.1 Засоби індивідуального захисту

Захистіть організм від шкідливих елементів, використовуючи робочий одяг, взуття, головні убори та рукавички. Забороняється працювати в брудному або зіпсованому спецодязі.

Таблиця 4.2. Розрахунок кількісних норм засобів індивідуального захисту, необхідних для працівників на місці безперервної холодної прокатки «1680»

Професія	Індивідуальні засоби захисту	Кількість людей за професією	Строки носіння в місяцях	Кількість одягу за т
Майстер	Костюм х/б	1	12	1
	Черевики шкіряні		12	1
	Рукавиці брезентові.		1	12
Вальцювальнік	Костюм х/б	14	12	14
	Черевики шкіряні		12	14
	Рукавиці брезентові		1	168

4.2.2 Захисні заходи для уникнення впливу небезпечних і шкідливих факторів.

Таблиця 4.3 Технічні заходи захисту від небезпечних і шкідливих факторів.

Небезпечні або шкідливі фактори (гіпотетичне значення)	Розроблений пристрій захисту	Тип обладнання	Місце встановлення
1	2	3	4
Рухомі частини технологічного обладнання та штаби	Захисні кожухи, поручні, огорожі	Стаціонарні, переносні	Окрема одиниця обладнання, деталь тощо. Технічна лінія

Електромагнітне поле (20В/м)	Захисні екрани	Стаціонарні, переносні	Перед джерелом випромінювання
Іонізуюче випромінювання (0,0072А/кг)	Корпуса приводів виготовляють із матеріалів поглинаючих або що екранують дане випромінювання	Стаціонарні, переносні	Перед джерелом випромінювання
Шум (80дБА)	Захисні екрани, звукоізоляційні пости, засоби індивідуального захисту	Стаціонарні, переносні	Пости керування станом
Електричний струм (не більше 0,01А)	Ізоляція всіх провідників електричного й струмоведучих частин, заземлення встаткування	Стаціонарні, переносні	Місце установки встаткування або проведення ремонтних робіт
Технологічний пил та інші виділення газів в атмосферу	Система витяжок і вентиляції, індивідуальні засоби захисту	Стаціонарні, переносні	Між робочими клітями, під моталкою

У виробничому середовищі існують різноманітні небезпечні та шкідливі фактори, і необхідно розробити заходи щодо запобігання їх негативної дії.

Ми пропонуємо інженерні рішення, що забезпечують механізацію та автоматизацію виробничих процесів, герметизацію обладнання, що виділяє небезпечні речовини, а також рішення, які дозволяють працівникам безпечно керувати технічними засобами (сигналізації, пульти дистанційного керування, продувні або запобіжні клапани тощо).), дивіться таблицю 4.3.

4.2.3 Освітлення.

Освітлення промислових будівель може здійснюватися природним і штучним освітленням. Якщо природного освітлення недостатньо, використовують комбіноване освітлення.

Для нормального природного освітлення в цеху слід видаляти пил і бруд зі скла не рідше 4 разів на рік. Для штучного освітлення також використовуватимуть газорозрядні лампи (люмінесцентні лампи, ртутні лампи високого тиску), табл. 4.4.

Особливістю прокатного виробництва є виробництво світильників, що встановлюються в закритих приміщеннях. Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне та евакуаційне. Аварійне освітлення потрібне, оскільки відхилення в робочому освітленні можуть призвести до тривалих перерв у технологічному процесі. Нормування промислового освітлення згідно з СІ та П 11-4-79.

Таблиця 4.4 Нормування значення КПО при природному й штучному освітленні.

Найменування відділення, ділянки, робочого місця	Розряд зорової роботи	Система загального освітлення, освітленість		Аварійне освітлення	
		При люмінесцентних лампах лк	При лампах накаливання лк	Для продовження робіт	Для евакуації лк
Стан 1700		200	75	5% від освітленості (не менш 2 лк)	0,5

Природне освітлення в прокатному цеху здійснюється через вікна в бічних стінах і світлові жолоби (ліхтарі) у верхніх частинах. Природне освітлення нормується за допомогою коефіцієнта природного освітлення (КЕО).

4.3 Заходи електробезпеки

Широкий спектр використання електричного струму обумовлює необхідність запобігання його дії на організм людини.

Електробезпека - це комплекс заходів, спрямованих на запобігання ураження людей електричним струмом.

Вплив електричного струму на організм може призвести до небезпечних для здоров'я наслідків і навіть смерті. Небезпека збільшується через те, що наші органи чуття не можуть безпечно визначити наявність напруги. Імовірність ураження електричним струмом висока. Великий вплив має зовнішнє середовище.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ СНіП 111 - 33 - 76 належить до зони класу В – 16. Це зона, розташована в приміщеннях, у яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пар ЛВЖ із повітрям не утворюються, а можливі тільки в результаті аварій або несправностей.

Небезпека поразки електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушення ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах.

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5,9$ А, напруги відповідно $U = 220 - 380$ V.

Однією з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

При пошкодженні ізоляції електрообладнання може несподівано з'явитися напруга на металевих частинах (шасі, корпусі, базі), які знаходяться не на своєму нормальному місці. Існує ризик ураження електричним струмом при підключенні до металевих конструкцій під напругою.

Нещасні випадки також можуть виникнути при дії дугових струмів; безпосередній контакт з відкритими струмоведучими частинами та проводами: випадковий, не викликаний виробничою необхідністю або

внаслідок неправильної напруги живлення під час технічного обслуговування та перевірки; контакт з обладнанням, що випадково потрапило під напругу, при використанні металевих частин; вплив крокової напруги тощо.

Ризик ураження електричним струмом створює різноманітне обладнання: електроприводи (включаючи апаратуру керування пуском), електрообладнання для підйомно-транспортного обладнання, електрифікований транспорт в межах підприємства, зварювальні апарати, високочастотне та освітлювальне обладнання, переносні інструменти. ТОЩО

У прокатному цеху вживатимуться такі заходи для запобігання ураженню електричним струмом:

А) Уникайте контакту зі струмоведучими частинами;

б) Уникайте контакту з обладнанням, яке випадково потрапило під напругу;

В) Запобігання надмірному струму (коротке замикання)

У першому випадку обгородіть та ізолюйте струмоведучі частини, розмістіть їх на недоступній висоті та використовуйте знижену напругу.

Для другого випадку найпоширенішим, простим і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисна функція заземлювача полягає в зниженні напруги на випадково потрапили під напругу металевих частинах відносно землі до безпечного значення, тим самим виключаючи ризик виходу з ладу осіб, які стикаються з ними.

Приєднання корпусів електрообладнання та інших металевих конструкцій до заземленого нульового проводу називається захисним зануленням. Мета занулення захисту - через захист перетворити пробій оболонки в коротке замикання і швидко відключити пошкоджений пристрій від мережі.

Пристрої, здатні автоматично вимикати електроустановку не більше ніж за 0,2 секунди за наявності в установці сильних струмів, у тому числі при

наявності напруги на корпусі та інших металевих частинах, називаються захисними відключеннями.

При обслуговуванні електроустановок використовувати основні та додаткові засоби захисту. В основному це захисні пристрої, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу пристрою та допускає прямий контакт із струмоведучими частинами під час використання. До додаткових пристроїв належать захисні пристрої, які підвищують ефективність основного пристрою та забезпечують безпеку від дотику та крокових напруг. До засобів індивідуального захисту належать: ізоляційні штанги, ізоляційні хомути, ізоляційні черевики, ізолюючі рукавиці, ізолюючі стійки тощо. Концепція мережі та нейтральний режим джерел струму, що живлять мережу, вибираються на основі технічних вимог, а також умов безпеки.

Залежно від технічних вимог і умов безпеки оптимальною є чотирипровідна мережа з глухозаземленою нейтраллю, оскільки дозволяє використовувати дві робочі напруги - лінійну і фазну. Від чотирипровідної мережі можна використовувати напругу 380 В для живлення електричних навантажень (трифазних або однофазних), в тому числі між фазними і нульовими провідниками, тобто фазну напругу 220 В, при цьому значно знижуючи витрати за рахунок використання меншої кількості трансформаторів, дротів меншого перерізу тощо дозволило покращити всю електроустановку.

4.4 Пожежна безпека

Відповідно до СНиП 11-2-80 виробництво холоднокатаного листа відноситься до категорії Д, так як виробництво пов'язане з переробкою незгорілих речовин і матеріалів в холодному або гарячому стані.

Сталепрокатний цех і лінія виробництва холоднокатаного листа за класифікацією пожежної зони відносяться до зони рівня П-Па, тобто місця,

що містять тверді речовини, які не можуть перейти у завислий стан. Будівля ЦХП-1 ВАТ «Запоріжсталь» має IV ступінь вогнестійкості.

Джерелами займання можуть бути:

- Газоповітряні вибухонебезпечні суміші (кисень, природний газ);
- Масло при дії відкритого вогню;
- Електрообладнання - якщо виникає коротке замикання або статична електрика;
- Розряд блискавки;
- Самозаймання масляних відходів.

Газорятувальні служби забезпечують постійний контроль за станом та герметичністю газопроводів і газової арматури. На все опалювальне обладнання встановлені запобіжні клапани, які в разі виникнення аварійної ситуації (відключення головного вентилятора, падіння тиску в газопроводі та ін.) запобігають потраплянню газу в колектор та вмикають світлову та звукову сигналізацію.

Електричне обладнання має вибухозахищений дизайн (двигун, освітлення).

Замаслені частини збирають у металеві ящики, вивозять у спеціально відведені місця і спалюють. Щоб запобігти ризику ураження блискавкою, використовується ряд захисних пристроїв, що забезпечують безпеку людей, будівель і споруд.

При виникненні пожежі застосовувати основні способи пожежогасіння згідно технічних умов (табл. 4.5).

Також для гасіння пожежі використовують технічну воду, пожежні гідранти, пісок, повсть.

Таблиця 4. 5 Розрахунок первинного засобу пожежогасіння секції «1700» стана холодної тандемної прокатки.

Найменування приміщень, споруджень, установок	Од. виміру	Пінні вогнегасники ВХП-10	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском, ємністю 0,5 м ³
			ВВ-2	ВВ-5	УП-1	
Ділянка стана 1700	10210 м ²	11	3	6	1	2
Пости керування	11 шт	3	4	2	2	-
Електромостовий кран	2 шт	-	1	2	-	-
Вентиляційні установки	3 шт	2	2	3	2	1

ВИСНОВКИ

1. В аналітично пошуковій частині розглянуто стан проблеми де розглянуті аспекти впливу натягнення металу на момент прокатки. В літературному огляді наведені дані та проаналізовані результати дослідження по даним публікацій науково-технічних видань.

2. Приймавши як базові геометричні та деформаційні параметри за чинною технологією, розраховали енергосилові параметри змінюючи величину напруження натягу з кроком $0,05\sigma_{\phi}$. Змінення натягу в межах $(0,25-0,35) \sigma_{\phi}$ призводить до зниження середнього контактного тиску при прокатці, а відповідно і енергосилові параметри прокатки штаби силу, момент та потужність. Це пояснюється тим, що натяг полегшує подовжне переміщення металу, зменшує дійсне значення напруження текучості і тим самим сприяє зниженню середнього контактного нормального напруження. Причому переднє і заднє питоме натягнення надають різний кількісний вплив на середній контактний тиск. Заднє впливає на середній контактний тиск більшою мірою,

чим переднє. Відбувається це тому, що заднє натягнення в діє на зону відставання, яка займає значну частину осередку деформації.

3. Удосконалено метод розрахунку моменту при прокатці штаби з натягом, що враховує вплив результуючої поздовжніх сил металу, що пластично деформується. Результати порівняння дослідних та розрахункових даних показали, що запропонований метод може бути рекомендований для визначення моменту при прокатці з натягом штаби.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Піменова В.А., Бабушко Ю. Ю., Бахтіна журнал С. В. Розробка технології реверсивної холодної прокатки тонкого висококремнистого прокату на основі математичної моделі енергосилових і теплових процесів». *Сталь*. №10. 2014.стр.35-39
2. Ніколаєв В.О. Холодная прокатка полос ч.2. ЗГІА .Запорожье,2014. С.142
3. Василев Я. Д., Минаев А. А. Теория продольной прокатки : учебник. Донецк: УНИТЕХ, 2010. 456 с.
4. Василев Я. Д. Теоретическое исследование влияния натяжения на энергетическую эффективность процесса холодной полосовой прокатки. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2012. № 6. С. 3 - 5.
5. Чернов П. П., Мухин Ю. А., Бахаев К. В. Влияние режимов межклетевого натяжения на удельный расход энергии при тонколистовой холодной прокатке. VI Конгресс прокатчиков. Липецк, 2005. С. 186 - 190.
6. Василев Я. Д., Самокиш Д. Н. Моделирование влияния натяжения на мощность процесса холодной полосовой прокатки. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2012. № 12. С. 19-23.
7. Василев Я. Д., Самокиш Д. Н. Разработка энергосберегающих режимов натяжений на непрерывных станах холодной прокатки. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 2. С. 34 - 38.
8. Василев Я. Д. Инженерная методика расчета температуры полосы при холодной прокатке . *Производство проката*. 2012. №6. С. 15-19.
9. Василев Я. Д. Методика расчета коэффициента трения при холодной прокатке с эмульсией на основе эмпирических зависимостей. *Производство проката*. 2012. № 7. С. 2 – 7
10. Василів Я.Д. Інженерна методика розрахунку температури штаби при холодній прокатки журнал. *Производство проката*. №6 .2012 р. с.15-19

13. Мазур В.Л., Саф'ян А. М., Приходько І. Ю., Яценко А. І..
Управління якістю тонколистового лиття заготовок .Київ: Техніка, 1997. 384 с.
14. Василів Я.Д., Дементиенко А. В. Безперервна прокатка тонких і особливо тонких штаб. Безперервна прокатка: Колективна монографія. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ », 2002. С. 137-293.
15. Василів Я.Д. , Самокиш Д.Н Розробка енергозберігаючих режимів натягування на безперервних станах холодної прокатки. *Металургическая и горнорудная промышленность*. №2. 2013 р. с. 35-39
16. Василів Я.Д., Саф'ян М.М. Виробництво полосової і листової сталі. К .: Вища школа, 1976. 192 с.
17. Мазур В. Л., Ноговіцин А. В. Теорія і технологія тонколистової прокатки (Чисельний аналіз і технічні додатки). Дніпропетровськ: РВА Дніпро-УА. 2010. 500 с.
18. Василів Я.Д., Самокиш Д.Н., Замогильний Р.А. та ін. Вплив товщини і відносного обтиснення штаби на потужність процесу холодної прокатки з натягом. *Обробка матеріалів тиску*. 2012. № 3 (32). С. 142-147.
19. Василів Я.Д. Теоретичне дослідження впливу натягу на енергетичну ефективність процесу холодної штабової прокатки. *Изв. Вузів. Чорна металургія*. 2012. № 6. С. 3-5.
20. Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: ЛБІ НБУ. 2002. 142 с.
21. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2002. 320 с.
22. Трахтенберг А.М., Коршун М.М., Чебанова О.В Гигиена труда и производственная санитария. К.: Киев, 1997. 462 с.
- 23 . Рожков А.П. Пожарная безопасность на производстве. К.: Охрана труда, 1997. 448с.