

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра Обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

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

на тему Вдосконалення режиму безперервної прокатки низьковуглецевих сталей на станах холодної прокатки

Виконав: студент __2__ курсу, групи 8.1360-омт-д

Поляков Артем Юрійович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Кафедра _____ Обробки металів тиском _____

Рівень вищої освіти _____ другий магістерський рівень _____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність _____ 136 Металургія _____
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____ ОМТ _____
Ю.О. Белоконь _____

“ 01 ” _____ 07 _____ 2021 року

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

Поляков Артем Юрійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) _____ Вдосконалення режиму безперервної прокатки
низьковуглецевих сталей на станах холодної прокатки _____

керівник проекту (роботи) _____ Кругляк Дмитро Олегович _____ к.т.н, доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “30” _____ 06 _____ 2021 року № 975-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 24.11.2021 _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____ Визначення параметрів оптимізації
прокатування інструментальної сталі на безперервних станах гарячої
прокатки _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____ Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-
розрахункова частина. Структура досліджуваних металів. Охорона праці та
техногенна безпека. Економічні аспекти. Висновки. Перелік
посилань. _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 10 слайдах (на 10 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Аналітично-пошукова частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Дослідницько-розрахункова частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Параметри оптимізації прокатування інструментальної сталі</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Економічні аспекти</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 01.07.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	29.09.2021 - 12.10.2021	
2	<i>Реферат</i>	12.10.2021 - 16.10.2021	
3	<i>Аналітично-пошукова частина</i>	29.09.2021 - 11.10.2021	
4	<i>Дослідницько-розрахункова частина</i>	12.10.2021 - 07.11.2021	
4	<i>Структура досліджуваних металів</i>	17.10.2021 - 30.10.2021	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	24.10.2021 - 15.11.2021	
6	<i>Економічні аспекти</i>	30.10.2021 - 17.11.2021	
7	<i>Висновки</i>	15.11.2021 - 17.11.2021	

Студент _____ А.Ю. Поляков
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Д.О. Кругляк
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – неперервний стан холодної прокатки 1680.

Мета роботи – дослідження та вдосконалення режимів безперервної прокатки низько вуглецевих сталей на стані неперервної прокатки 1680.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків в ковальсько-штампувальному і прокатному виробництві.

Отримані результати і їх новизна – модернізація технології здійснена за рахунок оптимізації режимів обтиску, що дозволило значно поліпшити якість холоднокатаного листа, мінімізувати витрати по переділу, збільшити продуктивність стану.

Результати роботи можуть бути використані при холодній прокатці штаб на стані «1680». Застосування ефективних технологічних режимів дозволить збільшити виробіток стану.

АННОТАЦИЯ

Объект исследования – непрерывное состояние холодной прокатки 1680 года.

Цель работы – исследование и усовершенствование режимов непрерывной прокатки низкоуглеродистых сталей на состоянии непрерывной прокатки 1680.

Метод расчетов – стандартные методики расчетов в кузнечно-штамповочном и прокатном производстве.

Полученные результаты и их новизна модернизация технологии осуществлена за счет оптимизации режимов обжатия, что позволило значительно улучшить качество холоднокатаного листа, минимизировать затраты по переделу, увеличить производительность состояния.

Результаты работы могут быть использованы при холодной прокатке штаба на состоянии «1680». Применение эффективных технологических режимов позволит увеличить выработку состояния.

ANNOTATION

The object of research is the continuous state of cold rolling in 1680.

The purpose of the work is to study and improve the modes of continuous rolling of low-carbon steels in the 1680 continuous rolling state.

Calculation method - standard calculation methods in forging and stamping and rolling production.

The obtained results and their novelty, the technology was modernized by optimizing the reduction modes, which made it possible to significantly improve the quality of cold-rolled sheet, minimize the cost of redistribution, and increase the productivity of the state.

The results of the work can be used for cold rolling of the headquarters at the 1680 condition. The use of effective technological modes will increase the production of the state.

Реферат

Пояснювальна записка до магістерської роботи складається: 102 с, 5 частин, 34 рисунків, 20 таблиць, 21 джерела.

Об'єкт дослідження – неперервний стан холодної прокатки 1680.

Мета роботи – дослідження та вдосконалення режимів безперервної прокатки низько вуглецевих сталей на стані неперервної прокатки 1680.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків в прокатному виробництві.

Наведено результати теоретичних досліджень впливу температури заднього кінця штаби на параметри прокатки. Показано вплив підвищення температури штаби на ділянках перехідних процесів (задній кінець штаби і зварений шов). Збільшення швидкості прокатки перед входом задньої ділянки штаби в кліть № 1 дозволяє зменшити енергосилові параметри прокатки, заднє стовщення штаби, а також витрата металу в обріз. Визначена найбільш ефективна температура вихідного підкату в межах 150 °С, при якій відбувається помітна зміна параметрів деформації.

Новизна отриманих результатів полягає в модернізації технології за рахунок оптимізації режимів обтиску, збільшенню швидкості окремих ділянок штаби, заміною електродвигунів, що дозволить значною мірою поліпшити якість прокатування листа, мінімізувати витрати металу, збільшити продуктивність стану холодного прокатування.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ, СТАН, КЛІТЬ, РЕЖИМ ОБТИСКУ, ШТАБА, ШВИДКІСТЬ, МАСТИЛО, СЕКУНДНИЙ ОБ'ЄМ, ТЕМПЕРАТУРА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ, НАПРУЖЕННЯ, СИЛА ПРОКАТКИ.

ABSTRACT

The explanatory note to the master's thesis consists of: 102 pages, 5 parts, 34 figures, 20 tables, 21 sources.

Subject of the present investigation – continuous state of cold rolling 1680.

The purpose of the work is to study and improve the modes of continuous rolling of low carbon steels in the state of continuous rolling 1680.

Design and calculation method – is standard methodology design in the rolling.

The results of theoretical researches of influence of temperature of the back end of a staff on rolling parameters are resulted. The effect of increasing the temperature of the staff in the areas of transients (rear end of the staff and the weld) is shown. Increasing the rolling speed before the entrance of the rear section of the staff in the cage № 1 reduces the power parameters of the rolling, rear thickening of the staff, as well as the consumption of metal in the trim. The most effective temperature of the initial roll in the range of 150 ° C, at which there is a noticeable change in the parameters of deformation.

The novelty of the results is the modernization of technology by optimizing crimping modes, increasing the speed of individual sections of the headquarters, replacing electric motors, which will significantly improve the quality of sheet metal rolling, minimize metal costs, increase productivity of cold rolling.

COLD ROLLING, PLASTISITY, DEFORMATION, ROLLINGMILL, STAND, OILL VOLUME, SPEED, OPTIMIZATION, TENSION, TEMPERATURE, INTENSIFICATION, STRESS, FORSE OF THE ROLLING .

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз наукової інформації і стан проблеми	9
1.1 Визначення технології і режимів обтиску	9
1.2 Чинники, що впливають на режими обтиску.....	10
1.3 Перспективи розвитку виробництва та пропозиції щодо його вдосконалення	33
2 Дослідницько-розрахункова частина	36
2.1 Математичне планування дослідження.....	36
2.2 Обґрунтування завдання та методика дослідження.....	48
2.3 Розрахунок режимів обтисків комбінату „Запоріжсталь”.....	60
2.4 Запропонований розрахунок режимів обтиснень.....	66
2.5 Аналіз перерахунку обтиснень.....	73
2.6 Аналіз продуктивності стану.....	73
3 Структура досліджувальних металів	75
4 Охорона праці та техногенна безпека	84
4.1 Аналіз потенційних шкідливих та небезпечних чинників виробничого середовища прокатного цеху.....	84
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників прокатного виробництва	86
5 Економічні аспекти проблеми	95
Висновки	99
Використана література	101

Вступ

Прокатне виробництво – це комплекс взаємозв'язаних технологічних переділів, що визначають якість прокатної продукції і техніко-економічні показники роботи прокатних цехів.

Розвиток сучасного прокатного виробництва базується на використанні нового сучаснішого нагрівального, прокатного і оброблювального устаткування, що характеризується процесами і операціями, вищими швидкостями та інтенсивними режимами роботи.

Холоднокатаний листовий прокат може бути товарною продукцією металургійного підприємства або використатися як вихідна заготівля для виробництва гнутих профілів, жерсті. Швидкість прокатки на цьому стані не перевищує 12 м/с, а керування процесом прокатки відбувається вручну. На станах застосовують по рулонний спосіб прокатки при масі збільшеного рулону 10 – 30 т [1].

Основними тенденціями в холодній прокатці є підвищення якості продукції, розширення сортаменту прокату, поліпшення механічних властивостей металу, ступеня обробки поверхні листа, ріст точності геометричних розмірів.

Одним з недоліків прокатування є наявність потовщених необтиснених кінців штаби довжиною 8 - 10 м через відсутність натягу на кінці штаби. Наявність потовщених кінців збільшує витрату металу на одну тону готового прокату на 3 - 4 %.

Для усунення недоліку потовщених кінців на НСХП 1680 пропонується застосування методу подібного на процес нескінченної прокатки. Використовуючи його зменшиться поздовжня різнотовщинність та кількість металу у обрізі.

1 Аналіз наукової інформації і стан проблеми

1.1 Визначення технології і режимів обтиску

При визначенні технології і режимів обтиску на стані звичайно виходять з досвіду роботи персоналу, існуючих традицій і прийнятих на заводах технологічних схем, особливостей встановленого устаткування, якості початкової заготовки і конкретних вимог, що пред'являються до готової продукції. Проте такий диференційований підхід обмежує застосування автоматизованих систем для розрахунку і оптимізації режимів обтиснень. Численні особливості процесу зумовлюють те, що в даний час немає загальновизнаних методів розрахунку режимів холодної тонколистової прокатки. Ці режими звичайно встановлюють на підставі досвідчених даних і поступово коректують в процесі роботи [26].

Рекомендований в літературі порядок розрахунку режиму холодної прокатки на безперервному стані полягає в наступному:

1. Вибирають сумарний ступінь деформації на стані на підставі можливостей стану і технологічних вимог попередніх переділів.
2. Розподіляють обтискання по клітях безперервного стану, виходячи з сумарного ступеня обтискання.
3. Призначають натягнення по клітях, перед першою кліттю, а також між моталкою і останньою кліттю.
4. Задаються швидкістю прокатки в останній кліті стану відповідно до товщини прокатувального металу.
5. По прийнятих коефіцієнтах обтиску в кожній кліті визначають товщину штаби по клітях, швидкості з урахуванням випередження і натягнення, тиск і зусилля металу на валяння з урахуванням того, що пружного зім'яло валків.

1.2 Чинники, що впливають на режими обтиску

Розглянемо основні чинники, що впливають на режими деформації при безперервній стаціонарній симетричній холодній прокатці.

Сумарне відносне обтискання впливає на структуру і властивості холоднокатаного прокату і енергосилові параметри холодного прокатування. Тому при визначенні величини сумарного відносного обтискання або товщини початкового підкату враховують вимоги, що пред'являються до структури, механічних, технологічних і службових властивостей готового прокату, а також можливості механічного і електричного устаткування стану холодної прокатки. Крім того, враховується можливість і доцільність отримання необхідної товщини підкату на стані гарячої прокатки.

Досвід роботи вітчизняних і зарубіжних станів показує, що сумарне відносне обтискання при холодній прокатці штаб з вуглецевих сталей складає 0,45...0,80. При плющенні жерсті сумарне відносне обтискання досягає 0,90...0,95. Величина сумарного відносного обтискання при прокатці легованих сталей звичайно не перевищує 0,50...0,70 [1].

Якість автомобільного листа значною мірою визначається сумарним обтисканням при холодній прокатці, оскільки від цієї величини залежить кінетика рекристалізації при відпалі холоднокатаного металу, величина рекристалізованих зерен, характер мікроструктури, механічні властивості штаби і їх анізотропія.

Вплив сумарного обтискання при холодній прокатці на формування структури і властивостей сталі 08ГСЮТ досліджувалися [21] як в лабораторних умовах при моделюванні процесів холодного прокатування і відпалу, так і в умовах цеху холодної прокатки.

При цьому слід прагнути досягти тих же показників що і в сталі 08Ю (оладеподібна форма зерна, оптимальний розвиток октаедричних компонентів текстури цементит в межах балу 1 – 2), оскільки вона добре зарекомендувала себе в штампуванні.

Оптимальні характеристики штампуємости в низьколегованих сталях повинні формуватися за тих же умов як і в сталі 08Ю (з поправкою на легування). З цього виходить, що серед багатьох чинників, що визначають властивості листів, найбільш важливі ті, які можуть впливати на кінетику разупрочнення сталі в ході рекристалізаційного відпалу і на утворення нітридних фаз.

Встановлено, що залежно від сумарного обтискання при холодному плющенні, зміна механічних властивостей готового листа характеризується кривими що мають екстремальні значення. Поява екстремальних значень на кривих в певних інтервалах сумарного обтискання пов'язана із зміною розмірів і форми зерен фериту після відпалу, яке викликане частковим разупрочненням сталі в процесі холодного прокатування.

Марганцевисті сталі при холодному плющенні сильно наклепують. У зв'язку з цим знижується пластичність сталі і підвищується тиск металу на валяння. Сумарне обтискання при плющенні марганцевистих сталей не перевищує 75 % – у разі прокатування до 0,5 мм, при плющенні до 0,9 – 70%, оскільки підкат <2мм на тонколистовому стані гарячого прокатування одержати неможливо. Так, у сталі 12Г2А, 12Г2, 10Г2, 16Г2 при 10%-ном обтисканні майже рівній межі міцності. Сталі 25ХГСА, 30ХГСА, 08ГСЮФ, 08ГСЮТ порівняно пластичні. Холодне прокатування штаб з цих сталей на безперервних станах кварто після попереднього пом'якшувального відпалу не викликає ускладнень.

Для забезпечення кращого комплексу механічних властивостей сталі сумарне обтискання при холодному плющенні повинне відповідати інтервалам 53.56%, 62.64%, 70.75% [11]. Оптимальні сумарні обтискання дозволили одержати на стані 2030 стабільність властивостей автолистової сталі

(Таб.1, цифра зліва від косої межі відповідає плющенню по оптимальному режиму обтиснень; справа – по режиму, що діє в період освоєння стану).

Дослідження структури і властивостей різних металів залежно від величини сумарного ступеня деформації показали, що при певних обтисканнях спостерігається аномальна зміна властивостей, обумовлена формуванням особливої структури деформації. Цей ефект, що виявляється в зменшенні прочностних властивостей металу при певних обтисканнях в процесі холодної деформації, одержав назву явище атермічного разупрочнення.

Таблиця 1.1 - Стабільність властивостей стали автомобільних листів

Товщина штаби h, мм	Межа текучості σ_T , МПа	Середньоквадр. відхилення $S\sigma_T$, МПа	Коеф. варіації $V\sigma_T$ %
0,7	295/293	11/21	5,7/11,2
0,9	290/297	12/16	6,5/8,2
1,0	298/297	15/20	7,8/10,5

Важливим є розгляд і облік на практиці вплив сумарного обтискання на стабільність процесу холодного прокатування. Для дослідження впливу ефекту атермічного разупрочнення на площинну холоднокатаних листів стосовно виробничих умов стану холодного прокатування 1680, проведений статичний аналіз прокатуваного сортаменту [16,с.63-64]. При цьому використовували результати випробувань механічних властивостей і оцінки площинної готового прокату.

Характеристичні зони максимального розкиду механічних властивостей зіставляли із зонами деформації, відповідними до максимального середньоквадратичного відхилення площини холоднокатаних листів. Додатковим показником служить питомий вихід другого сорту металу по площинній. Результати статистичного аналізу зміни площинної холоднокатаних листів залежно від сумарного обтискання представлені в таблиці 1.2.

Для встановлення зв'язку між результатами, одержаними статистичною

обробкою даних зміни планшетності, і параметрами процесу прокатування в характеристичних областях обтиснень було проведене досвідчене холодне прокатування на напівпромисловому стані 800/500/500. Плющенню піддавали гарячекатану штабу із сталі 08ГСЮТ розміром 2,5 x 315 мм із ступінчастою зміною ступеня деформації через 2 – 4 % у сумарному діапазоні обтиснень від 35 – 85 % . При здійсненні вказаного експерименту вимірювали початкову товщину підкату через 5 метрів з маркіровкою місць вимірів.

Таблиця 1.2 - Порівняння положення зон максимального середньо квадратичного відхилення площинності листів і виходу другого сорту по дефектах площинності з зонами дії ефекту термічного разупрочнення.

Марка сталі	Зони сумарного обтискання %		
	ЭАР	відхилення площинної	вихід другого сорту
08ГСЮТ	57,5	58,5	–
	–	–	62,5
	–	64,5	64,5
	67,0	–	67,0
	70,5	70,5	69,5

Для отримання потрібних механічних властивостей тих, що забезпечують необхідну штампувальність відпаленого холоднокатаного листа необхідно дослідити і проаналізувати структуру і властивості матеріалу.

Дослідження структури і властивостей різних металів залежно від величини сумарного ступеня деформації [15,с.65-68] показали, що при певних обтисканнях спостерігається аномальна зміна властивостей, обумовлена формуванням особливої структури деформації.

У зв'язку з тим що структура і властивості металу після рекристалізаційного відпалу у великій мірі визначаються структурою, що сформувалася в процесі деформації, представляло інтерес вивчити, в якому ступені явище атермічного разупрочнення впливає на якісні показники відпаленого листа із сталі 08ГСЮТ. Холодне прокатування проводили на безперервному стані 1680 з підкату 2,0 мм із змінним сумарним обтисканням в інтервалі від 10 до 73%. Після відбору проб зразки відпалювали в колпакових печах при температурі 680°C.

У відпаленому стані вивчали зміну середнього розміру феритного зерна, твердості HRB, механічних властивостей з визначенням повного й рівномірного подовження δ_n і δ_p , межі міцності й плинності σ_B і σ_T . Крім того, оцінювали штампувальність готового листа шляхом дослідження текстури й визначення коефіцієнтів нормальної й площинної анізотропії R_H і $R_{пл}$, а також коефіцієнта зміцнення n .

Нормальну пластичну анізотропію R_H визначали як відношення поперечної деформації зразка до деформації по товщині:

$$R_H = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad (2)$$

ε_y - відносні деформації по ширині ;

ε_z - відносні деформації по товщині;

Однак визначити зміна товщини тонкого зразка безпосереднім виміром з достатньою точністю важко. Тому визначали деформацію по ширині й довжині зразка, а коефіцієнт анізотропії R_H обчислювали з умови сталості обсягу по формулі:

$$R_H = \frac{b_0 - b_1}{t_0 - \frac{t_0 b_0 l_0}{b_1 l_1}} \frac{t_0}{b_1}, \quad (3)$$

b_0, t_0, l_0 - ширина, товщина, довжина ділянки зразка, на якому проводять

визначення рівномірного подовження до деформації;

b_l, l_l – ширина й довжина зазначеної ділянки після деформації.

Нормальну пластичну анізотропію вимірювали на зразках, вирізаних уздовж і поперек напрямку прокатки. Штампувальність оцінювали за середнім значенням коефіцієнта R_n . Площинну пластичну анізотропію визначали як відношення відносних деформацій, обмірюваних у двох напрямках у площині аркуша (уздовж і поперек напрямку прокатки):

$$R_{пл} = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}, \quad (4)$$

Коефіцієнт площинної анізотропії характеризує штампувальність металу в різних напрямках площини листа. Сполучення порівняно великого значення коефіцієнта нормальної анізотропії з відсутністю анізотропії механічних властивостей у площині аркуша при високому коефіцієнті упрочнення n сприяє гарній штампувальності автолистової сталі.

При дослідженні зміни ферритної структури залежно від величини сумарного обтиснення виявили монотонне зменшення середнього розміру зерна при збільшенні ступеня деформації від 10 до 73%. При обтисненнях 50-73% середній діаметр ферритного зерна змінюється мало й коливається в межах від 0,015 до 0,018 мм, що відповідає 8-9 балам. Однак при дослідженні неоднорідності ферритної структури шляхом оцінки дисперсії $S(d)$ (рис. 1.1, а) установили, що при ступенях деформації 55 і 68% різко зростає розкид по розмірах ферритного зерна. Як показали попередні дослідження, саме при цих обтисненнях структура й механічні властивості в деформованому стані характеризувалися підвищеною неоднорідністю. Описані результати свідчать про те, що структурна неоднорідність, що виникла в деформованому стані при ступенях деформації, що відповідають аномальним областям, успадковується й після відпалу.

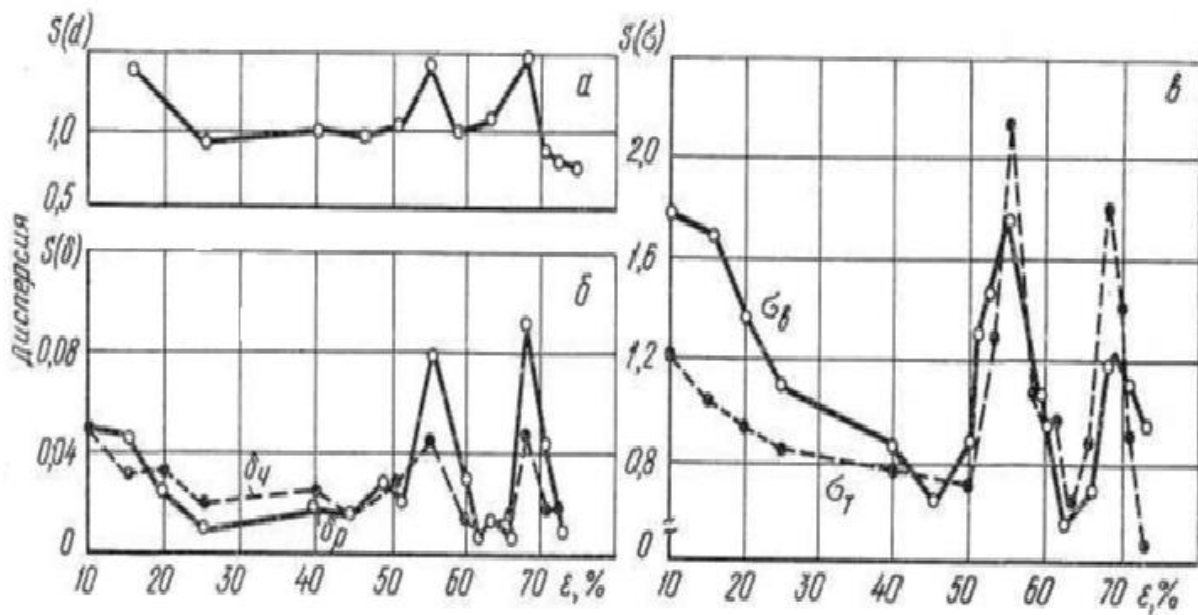


Рисунок 1.1 - Зміна дисперсії структури й механічних властивостей стали 08ГСЮТ у відпаленому стані

Наслідком збільшення структурної неоднорідності з'явилося підвищення нестабільності механічних властивостей в аномальних областях (рис. 1.1, б, в). Як видно з наведених даних, при ступенях деформації 55 і 68 % у два-чотири разів збільшується дисперсія рівномірного δ_r і повного δ_n відносного подовження, у два - три рази — дисперсія межі міцності σ_b і границі текучості σ_T . Аномальні зміни виявлені при вимірах твердості й мікротвердості.

Текстуру досліджували шляхом побудови полюсних фігур і визначення полюсної щільності $P_{(h,k,l)}$ текстурних компонентів (100) і (111). Аналіз полюсних фігур дозволяє описати текстуру аркуша після рекристалізаційного відпалу наступними компонентами: (111)<112>; (111)<110>; (001)<110>; (112)<110>. Це цілком погодиться з літературними даними по текстурах для о.ц.к. металів. Зі збільшенням обтиснення орієнтування, що погіршують штампувальність (112) <110>; (001)<110>, слабшають, а сприятливі орієнтування (111)<112>; (111)<110> підсилюються. Однак при ступенях деформації в районі 55 і 68% спостерігається зворотна закономірність,

Результати дослідження полюсної щільності $P_{(h,k,l)}$ залежно від обтиснення, наведені на рис. 1.2, також свідчать про зміну співвідношення текстурних компонентів при обтисненнях 55 і 68% у бік росту несприятливої для штампувальності компоненти $\{100\}$ і зменшення сприятливого компонента $\{111\}$. Необхідно відзначити, що зі збільшенням сумарного обтиснення спостерігається збільшення частки текстурного компонента $\{111\}$ і зменшення компонента $\{110\}$, виключення становлять аномальні області. Це явище впливає на зміну таких характеристик штампувальності, як коефіцієнт нормальної анізотропії R_n , коефіцієнт зміцнення n і коефіцієнт площинної анізотропії $R_{пл}$. Коефіцієнт нормальної анізотропії R_n зі збільшенням сумарного обтиснення зростає з 0,4 до 1,2, а коефіцієнт площинної анізотропії падає з 1,4 до 0,2, що свідчить про поліпшення штампувальності, в аномальних областях, навпаки, спостерігається значне збільшення коефіцієнта $R_{пл}$ і зменшення добутку R_n (рис. 1.3, а).

Дослідження зміни пластичних характеристик δ_p і δ_n дозволило виявити погіршення пластичності металу при ступенях деформації 55 і 68% (рис. 1.3, б). У таблиці наведені значення обтиснень, що відповідають областям аномального поведіння різних властивостей листового металу зі сталі 08ГСЮТ у відпаленому стані. Перша область починається при ступенях деформації 50-52% і закінчується при 58-62%. Початок другої області відповідає 62-66%, а кінець 71-73%, У зазначених діапазонах обтиснень формується структура, що характеризується підвищеною неоднорідністю. Текстура в цих областях має збільшену частку несприятливих компонентів $\{100\}$, Внаслідок цього механічні властивості при зазначених ступенях деформації характеризуються підвищеною нестабільністю й низькими показниками штампувальності.

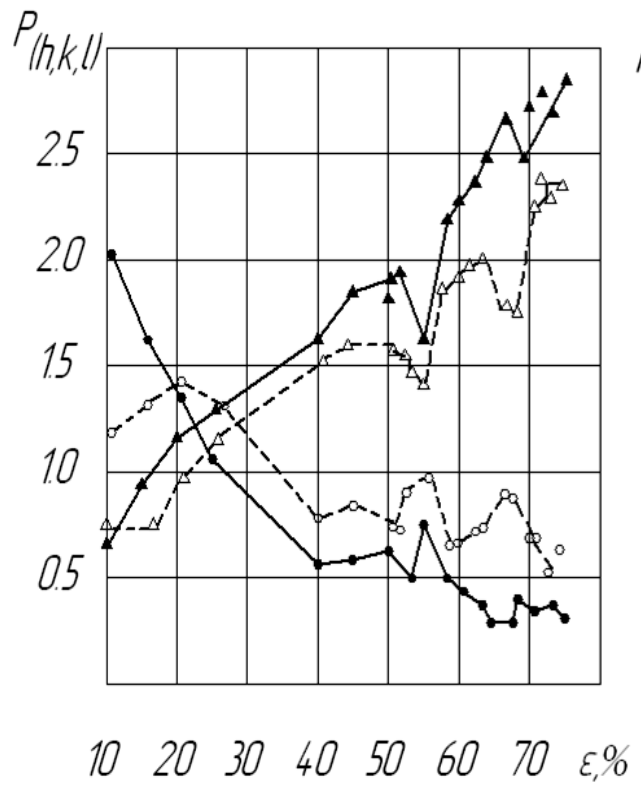


Рисунок 1.2 - Зміна полюсної щільності текстурних компонентів $\{111\}$ (Δ) і $\{100\}$ у середніх (—) і поверхневих (- -) шарах листа

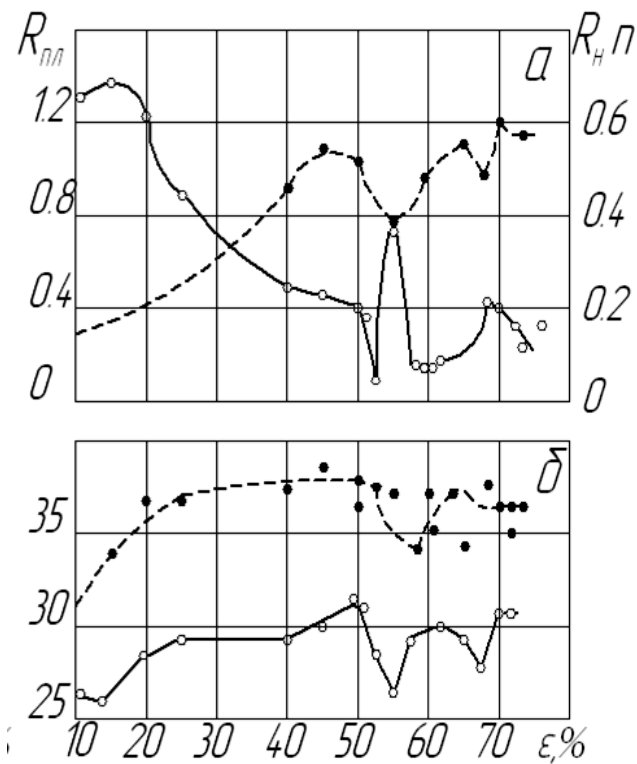


Рисунок 1.3 - Вплив сумарного обтиску на штампуємість (а) і пластичність (б) відпаленого листа

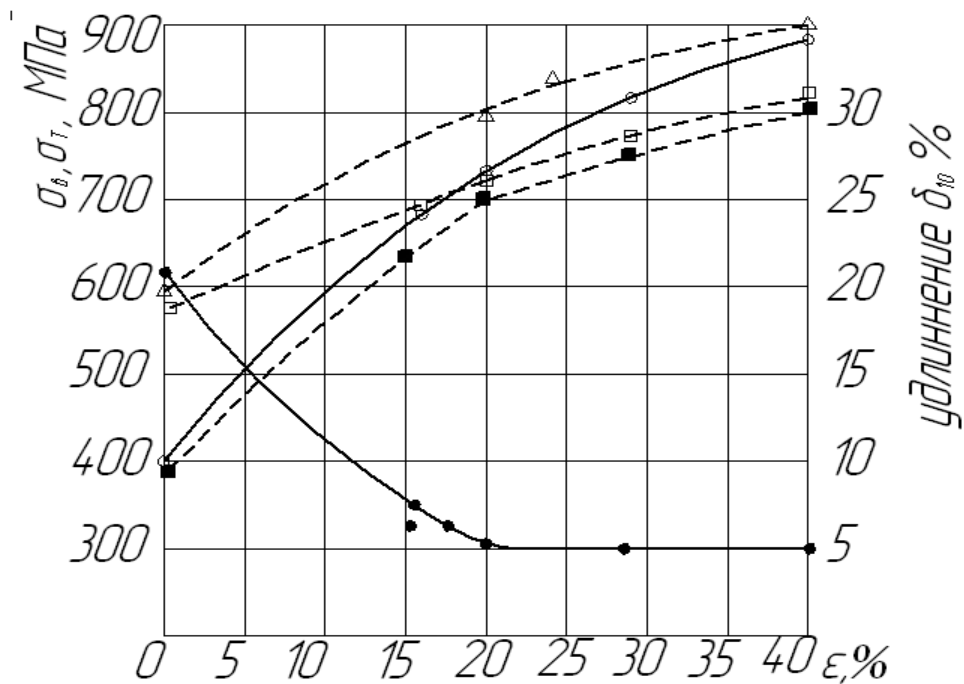


Рисунок 1.4 - Зміна механічних властивостей сталі 08ГСЮТ залежно від ступеня обтиснення при холодній прокатці

Приватні відносні обтиснення впливають на рівень енергосилових, кінематичних і температурних параметрів у кожній клітці на стабільність процесу, а також на точність, якість поверхні й стійкість штаби при холодній прокатці. Значення приватних відносних обтиснень по клітках визначаються величиною вихідної границі текучості й інтенсивністю зміцнення матеріалу штаби, міцністю валків і потужністю привода робочих клітей, умовами захвата, ефективністю технологічного змащення, режимами натягу, умовами охолодження валків, товщиною і якістю вихідного підкату, товщиною прокатувальної штаби, що, вимогами, пропонованими до точності геометричних розмірів і якості поверхні готового прокату.

З урахуванням сказаного на вітчизняному й закордонному безперервному станах холодної прокатки розподіл приватних відносних обтиснень по клітках виробляється по двох принципово різних схемах [1] (рис.1.5, а, б) (де ϵ - обтиснення в %, N - номер кліті). По першому схемі (рис. 1.5, а) частки відносні обтиснення зменшуються від першої кліті до останнього. Такий розподіл приватних обтиснень припускає ведення процесу

з найбільшими деформаціями в початкових клітках стана, коли значення параметра R/h_0 (де R , h_0 - відповідно радіус робочого валка й товщина штаби на вході у вогнище деформації) невеликі, що є енергетично вигідним. Крім того, матеріал штаби в початкових клітках стана характеризується найбільшою пластичністю й найменшим опором деформації. Ця схема застосовується при прокатці щодо товстих штаб, а також при прокатці тонких штаб з підкату з мінімальної разнотовщинністю й гарної планшетністю. Різновидом даної схеми є схема, представлена на рис. 1.5, що передбачає деяке зменшення приватного відносного обтиснення в першій клітці. Така схема використовується, коли горячекатаний підкат має значну поздовжню разнотовщинність. Доцільність застосування більше низьких відносних обтиснень у першій клітці обумовлюється тим, що найбільше зниження відносної поздовжньої разнотовщинності досягається при холодній прокатці, ненаклепаного металу з невеликими обтисненнями.

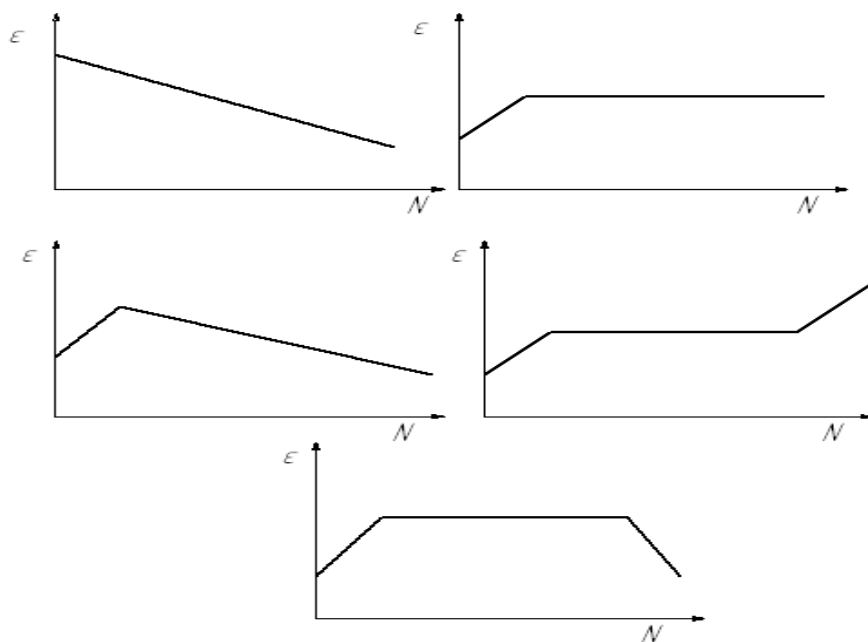


Рисунок 1.5 - Схема розподілу приватних обтиснень по клітках безперервних станів холодної прокатки

По другій схемі (рис. 1.5, б) приватні відносні обтискання у всіх клітках, за винятком першої, встановлюються приблизно на одному рівні.

Застосування менших відносних обтиснень в першій кліті обумовлюється викладеними вище міркуваннями. Різновидами другої схеми є схеми, представлені на рис.1.5,г,д, що передбачають прокатування із збільшенням (рис. 1.5, г) або зменшенням (рис. 1.5, д) обтискання в останній кліті. Застосування вищих приватних відносних обтиснень в останній кліті (рис. 1.5, г) дозволяє збільшити товщину штаби в останньому проміжку безперервного стану, що сприяє зниженню обривності. Така схема застосовується при плющенні тонкої жерсті. Реалізація цієї схеми приводить до великих навантажень механічного і електричного устаткування останній кліті, великим контактним напругам і високій температурі штаби і валків, значення яких можуть виявитися близькими до гранично допустимих, або перевищувати їх. У останньому випадку виникає необхідність в зниженні швидкості і (або) приватного відносного обтискання в останній, кліті стану. Схема із зменшенням відносного обтискання (рис. 1.5, д) реалізується, коли в останній кліті застосовують робочі валяння з насіченою поверхнею, або при недостатній потужності приводу моталки.

З урахуванням сортаменту, конкретних вимог, що пред'являються до якості готової продукції, і особливостей технології прокатування на кожному стані фактичні схеми розподілу приватних відносних обтиснень можуть дещо відрізнятись від схем, представлених на рис. 1.5.

До автомобільних листів висуваються високі вимоги по планшетності і разнотовщинності ці і ряд інших вимог до якості листа виступають обмежуючим чинником при виборі режимів обтиснень.

При плющенні в першій кліті задне натягнення практично відсутнє, унаслідок чого штаба при великих обтисканнях погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатування [26]. Ця обставина обмежує обтискання в першій кліті. Крім того обтискання в першій кліті обмежується тим, що гарячекатаний підкат має істотну разнотовщинність (першу кліть необхідно використовувати для регулювання товщини штаби за допомогою САРТ і тому вона повинна мати резервну потужність для

забезпечення належного діапазону регулювання).

Важливим доводом в захист знижених обтиснень в перших клітках безперервного стану є те, що ефект самовирівнювання різнотовщинності помітно виявляється лише тоді, коли деформаційне зміцнення металу порівняно невелике. Отже, зниження обтиснень в перших клітках сприяє самовирівнюванню подовжньої різнотовщинності.

При виборі величини обтискання в останній клітці безперервних станів враховують, що дуже велике обтискання утрудняє надходження мастила в зону деформації, слідством чого є погіршення якості поверхні. Іноді йдуть на збільшення обтиснень в останній клітці з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітками підвищену товщину штаби. Це зменшує вірогідність обриву штаби при регулюванні товщини штаби регулюванням натягнення. Завдяки значній деформації в останній клітці температура штаби істотно зростає і при змотуванні штаби в рулон складає близько 200 °С. Это сприятливо позначається на якості профілю прокатоної штаби, оскільки відбувається правка штаби розтягуванням при підвищеній температурі.

Обтискання в останній клітці не може бути малим також тому, що з його величиною пов'язано якість регулювання товщини штаби на виході безперервного стану. Для умов роботи чотирьохклетцевого стану 1700 Череповецького заводу при плющенні стали 08Ю з 2,0 на 0,5 мм відносне обтискання в четвертій клітці складає 23%. При 20%-ном допустимій зміні натягнення штаби регулятор зможе відпрацювати відносну різнотовщинність $\leq 0,1$, а при плющенні стали 10сп з 4 на 2,0 мм обтискання штаби в четвертій клітці складає всього 5%. При цьому регулятор без перекладу дій на попередні проміжки відпрацювати тільки відносну різнотолщинність величиною 2 %, тобто в 5 разів менше, ніж при обтисканні 23%.

Обтискання в останній клітці збільшують до певної межі, на чотирьохклетцевих станах при плющенні низьколегованих сталей – до 20 – 25%.

Величина і характер розподілу питомих натягнень по клітках стану

роблять великий вплив на режими обтиску [1]. Натягнення знижує контактні напруги і силу прокатування, підвищує стійкість, сприяє вирівнюванню витяжок по ширині і зменшує неплоскостність штаби. В результаті додатку зусиль, що тягнуть, до кінців штаби змінюються також момент і потужність прокатування. При цьому заднє натягнення приводить до зростання, а переднє до зниження моменту і потужності прокатування в даній кліті. На безперервних станах питомі натягнення штаби звичайно складають $0,1 \dots 0,4 \sigma_T$ (де σ_T – межа текучості матеріалу штаби у відповідному проміжку міжкліті).

Існує коректніша, але поки слабо підкріплена експериментально коректна формула:

$$\sigma_{\text{нат}} \leq 1,155 \sigma_s^* \gamma \quad (5)$$

де σ_s^* – межа рівномірної деформації в дослідах на розтягування;

γ – що знижує коефіцієнт що враховує стохастичу процесу тонколистової прокатки.

В більшості випадків величини питомих натягнень призначають, керуючись накопиченим досвідом і інтуїцією. При низькому рівні питомих натягнень і наявності нерівномірності деформації по ширині штаби можливо поява або збільшення неплоскостності, утворення складок і порушення стабільності процесу, що може привести до обриву штаби і порізу валків. При високому рівні питомих натягнень і значної неплоскостності штаби або наявності концентраторів напруг подовжні розтягуючі напруги розподіляються нерівномірно по ширині, і на окремих ділянках можуть набувати значення, рівного межі міцності матеріалу штаби, що також приводить до обриву.

Стійкість процесу холодного прокатування забезпечується тільки при натягненні штаби між клітями. При цьому натягнення:

знижують зусилля прокатування і завдяки відповідному зменшенню пружних деформацій деталей робочої кліті дозволяють збільшити обтискання;

сприяють вирівнюванню штаби і виправленню хвилястості або коробоватості її;

вирівнюють подовжню разнотовщинність штаби, оскільки при збільшенні (зменшенні) товщини підкату натягнення відповідним чином зростає (зменшується), що веде до підвищення (зниження) обтискання і, кінець кінцем, до вирівнювання штаби.

При плющенні низьколегованих сталей абсолютні значення питомих натягнень в проміжках, міжклітей, не перевищують 150...400 Н/мм² а між останньою кліттю і моталкою — 50...100Н/мм². Рівень питомих натягнень штаби на виході із стану встановлюється, виходячи з умов якісного змотування і запобігання появі дефектів "злипання" і "злам" на готовій штабі.

Джерелом тепловиділення при плющенні є механічна енергія, що складається з енергії деформації і енергії зовнішнього тертя. На створення внутрішніх напруг в металі витрачається 6 – 16 % від енергії деформації [1]. Решта енергії виділяється у вигляді тепла. Температура штаби при холодній прокатці може досягати 150 – 250 °С. Із збільшенням опору металу деформації, обтискання і швидкості прокатування тепловиділення зростає. Температура штаби і валків при прокмітці визначається тепловим балансом процесу.

Стійкість штаби є необхідною умовою реалізації режиму обтиснень на безперервному стані. Розрізняють подовжню і поперечну стійкість штаби. Під подовжньою стійкістю штаби мають на увазі відсутність прослизань щодо валків у напрямі прокатування. Під поперечною стійкістю мається на увазі відсутність зсувів штаби щодо осі прокатування.

Подовжня стійкість визначається двома чинниками — умовами захоплення штаби валяннями і режимами натягнення. Порушення подовжньої стійкості штаби за умовами захоплення може спостерігатися при плющенні з високоефективними технологічними мастилами і великими приватними обтисканнями. Аналогічний ефект спостерігається також при великій різниці між заднім і переднім питомими натягненнями, коли

прокатування ведеться з невеликими відносними обтисканнями. Вказані чинники впливають на подовжню стійкість штаби шляхом зміни положення нейтрального перетину. Для забезпечення стійкості, штаби в подовжньому напрямі необхідно вести процес прокатування з обов'язковою наявністю у вогнищі деформації зон пластичного відставання ж пластичного випередження.

Поперечний зсув штаби з'являється в результаті невідповідності форми поперечного профілю штаби на вході у вогнище деформації формі активної створюючої робочих валків. Підвищенню поперечної стійкості штаби сприяє збільшення шорсткості робочих валків, коефіцієнта тертя і повних натягнень.

Швидкість прокатки впливає на режими обтиснень через коефіцієнт тертя, опір деформації, температуру штаби і потужність прокатки. Із збільшенням швидкості прокатки коефіцієнт тертя зменшується а опір деформації, температура штаби і потужність прокатки зростають. Проте із зростанням швидкості прокатки найістотніше змінюються температура штаби і потужність прокатки. Ці два параметри часто стають технологічними обмеженнями при розробці і реалізації режимів обтиснень на безперервних станах.

Прочностніє властивості матеріалу штаби визначають опір деформації і через нього впливають на рівень енергосилових параметрів. Пластичні властивості матеріалу штаби визначають граничні величини сумарного і приватних відносних обтиснень. Облік впливу механічних властивостей матеріалу штаби при розробці режимів обтиснень на будь-якому стані зводиться до знаходження найбільш відповідних величин сумарного і приватних відносних обтиснень. При прокатці штаб з матеріалів, що інтенсивно зміцнюються, з високою початковою межею текучості і з невисокою пластичністю вживані на практиці величини сумарного і приватних відносних обтиснень значно нижче, ніж при прокатці штаб з пластичних матеріалів, що слабо зміцнюються, з низькою початковою межею текучості.

При розробці технології і дослідженні процесів листового прокатування необхідно враховувати зміцнення листа, обумовлене пластичною деформацією. Пластичність низьколегованих сталей нижче ніж у вуглецевих, цим викликано зменшення сумарного обтискання [16].

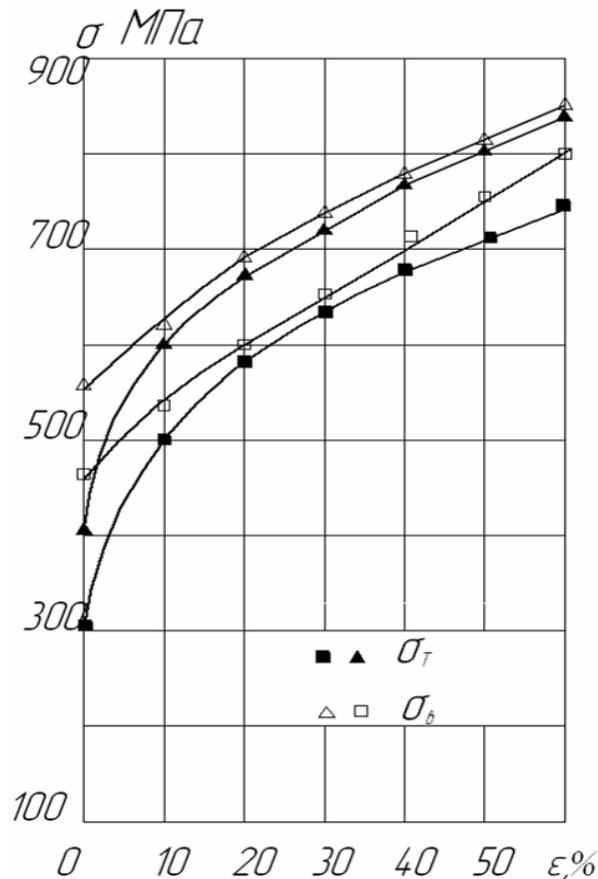


Рисунок 1.6 - Залежність прочностних характеристик сталей від ступеня деформації

При виконанні інженерних розрахунків при зміні деформації використовуються як криві зміцнення, так і значення межі текучості σ_T і тимчасової межі опору σ_B . Для опису зростання показників міцності зручно використовувати статичну залежність вигляду:

$$\sigma = \sigma_0 + A\varepsilon^n \quad (6)$$

σ – поточне значення межі σ_T або σ_B ;

σ_0 – початкове значення межі σ_T або σ_B ;

A, n – постійні коефіцієнти.

для низьколегованої сталі 08ГСЮФ завтовшки 1,0 мм

$$\sigma_T = 405 + 67,6\varepsilon^{0,462} \text{ МПа};$$

$$\sigma_B = 553 + 20,8\varepsilon^{0,668} \text{ МПа};$$

для низьколегованої сталі 08ГСЮТ завтовшки 1,0 мм

$$\sigma_T = 300 + 74,8\varepsilon^{0,435} \text{ МПа};$$

$$\sigma_B = 455 + 11,1\varepsilon^{0,845} \text{ МПа};$$

В умовах холодного прокатування суттєвий вплив на параметри процесу, а отже, і на режими обтиснень, надають пружні деформації валків і штаби. Пружні деформації валків і штаби викликають збільшення довжини дуги контакту, нормальних контактних напруг і сили прокатування. Це приводить до збільшення витрати енергії, погіршення температурних умов холодного прокатування і зниження ефективності процесу. Із зменшенням товщини штаби вплив пружних деформацій валків і штаби на параметри процесу зростає, що зовні виявляється в зниженні обжимної здібності кліті. У граничному випадку, коли величина пружного радіального стиснення робочих валків стане рівній початковій товщині штаби за вирахуванням її пружного відновлення, пластична деформація практично припиняється, і процес прокатування стає неможливим. Це явище відоме в літературі як невикативаємість штаби.

Обривність є одним з основних чинників, що впливають на продуктивність стану і стійкість валків. Тому для інтенсифікації прокатування на безперервному стані важливо вивчити і усунути причини що приводять до обривності штаби. Обрив відбувається в результаті перевищення питомими натягненнями межі міцності матеріалу штаби на деякій ділянці ширини. Такі умови виникають за наявності локальних дефектів профілю (тріщини на кромках, дірки, пльони і ін.) і форми (хвилястість, коробоватість) штаби, виступаючих в ролі концентраторів

напруг, а також при порушенні стійкості штаби і при проходженні зварних швів через вогнище деформації, що приводить до ривків натягнень.

Для зведення до мінімуму вірогідності виникнення умов, коли $q_i \geq \sigma_B$ (де q_i — удільне натягнення в будь-якому подовжньому перетині штаби, σ_B — межа міцності матеріалу штаби) на практиці застосовують низькі значення середніх питомих натягнень, що звичайно не перевищують $0,1 \dots 0,4 \sigma_T$ (де σ_T — межа текучості матеріалу штаби).

Іноді йдуть на збільшення обтискання в останній кліті з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітями підвищену товщину штаби. Це зменшує вірогідність обриву штаби при регулюванні товщини зміною натягнення.

Властивості технологічного мастила (в'язкість, температура спалаху і ін.) впливають на показники якості поверхні штаби, рівень енергосилових, кінематичних і температурних параметрів процесу і фактично визначають значення приватних обтискень і швидкості прокатування на кожному стані. З підвищенням ефективності технологічного мастила, тобто із зменшенням коефіцієнта тертя, знижуються енергосилові параметри прокатування і створюються умови для ведення процесу з вищими приватними і сумарними відносними обтисканнями. Із зменшенням коефіцієнта тертя поліпшуються також температурні умови деформації, що сприяє збільшенню швидкості прокатування і продуктивності безперервних станів.

Стан (шорсткість) поверхні робочих валків визначається вимогами, що пред'являються до якості готової штаби, і умовами її обробки на подальших переділах (очищення, відпал, нанесення захисних покриттів, штампування і т.д.). Стан поверхні робочих валків повинен забезпечувати, також стійкість штаби в лінії стану. Для задоволення цим вимогам в кожній кліті безперервного стану застосовують робочі валяння з певною шорсткістю. Використання в окремих клітях стану робочих валків з різною шорсткістю робить суттєвий вплив на рівень коефіцієнта, тертя, енергосилових, кінематичних і температурних параметрів процесу, а також на рівень і

характер розподілу приватних відносних обтиснень.

Необхідну шорсткість штаби одержують вибором параметрів шорсткості робочих валків з урахуванням коефіцієнта відбитковості, залежного від режимів обтиснень і натягнень, технологічного мастила, коефіцієнта тертя, коефіцієнта напруженого стану і кількості прокатоного металу, точніше довжини прокатоної штаби. Висока стабільність шорсткості штаби досягається строгою регламентацією величини приватного обтискання в останній кліті безперервного стану і кількості прокатоного металу.

Точність і якість поверхні підкату. Показники точності і якості поверхні початкового підкату надають істотне, а деколи і вирішальне вплив на характер розподілу приватних обтиснень по клітях безперервного стану. Для зменшення подовжньої різнотовщинності підкату прокатки в першій кліті стану здійснюють з малими або порівняно невеликими приватними відносними обтисканнями. Усуненню поверхневих дефектів підкату, навпаки, сприяє застосування вищих приватних відносних обтиснень і насічених валків в перших клітях стану.

Одним з найбільш поширених дефектів холоднокатаних штаб є забрудненість їх поверхні, що виявляється у вигляді пригару емульсії і грязьових плям, або у вигляді нальоту, сажа. Вплив режимів обтиснень на забрудненість штаби в даний час досліджений недостатньо. Разом з тим відомо, що забруднення поверхні штаби зменшується із зростанням швидкості прокатування. Збільшення відносного обтискання в останньому кліті і шорсткості штаби приводить до збільшення механічних і жирових забруднень. Підвищення концентрації емульсії викликає збільшення жирових і зменшення механічних забруднень поверхні металу. Збільшення механічних домішок в емульсії приводить до зростання жирових, і механічних забруднень штаби.

Розподіл приватних відносних обтиснень впливає на вирівнюючу здатність окремої кліті і стану в цілому. При застосуванні високоточних валків максимальна вирівнююча здатність стану досягається, коли

призначають малі відносні приватні обтискання в першій і подальших клітках. У випадках, коли биття валків значно, для отримання мінімальної подовжньої різнотовщинності доцільно використовувати режими із збільшенням обтискання від першої клітки до останньої.

Для забезпечення високої ефективності роботи систем автоматичного регулювання товщини (САРТ), натягнень (САРН), профілю і форми штаби (САРПФ) на безперервних станах холодного прокатування необхідно застосовувати приватні відносні обтискання в кожній клітці не менше 0,05...0,10. Першу клітку використовують для регулювання подовжньої різнотовщинності із застосуванням САРТ, тому вона повинна мати резервну потужність для забезпечення необхідного діапазону регулювання. Остання клітка використовується для тонкого регулювання товщини за допомогою зміни натягнення. З цієї причини вона також повинна мати запас потужності.

Теоретично встановлено [1] (рис. 1.7) і експериментально підтверджено (рис. 10), що залежності $P_c = \varphi(h_o)$ при холодному плющенні мають яскраво виражений мінімум. Визначення умов ведення процесу холодною прокатой з мінімальною силою зводиться до знаходження мінімуму функції $P_c = \varphi(h_o)$, тобто до рішення рівняння

$$\frac{dP_c}{dh_o} = 0 \quad (7)$$

Мінімум на кривих $P_c = \varphi(h_o)$ свідчить про те, що є одне значення початкової товщини $h_{от}$ ($h_{от}$ – товщина штаби на вході у вогнище деформації, що задовольняє умові (7)) і відповідна йому одна величина приватного обтискання ε , які, за інших рівних умов, забезпечують реалізацію процесу з мінімальною силою.

Здійснення холодної прокатки тонких штаб з мінімальною силою енергетично вигідно і забезпечує найбільшу обжимаючу здатність клітки. Енергетично вигідним є також прокатування штаб товщиною $h_0 > h_{от}$ (h_0 – товщина штаби на вході у вогнище деформації), оскільки в цих умовах вирішальний вплив на силу прокатування роблять параметри пластичної

деформації процесу. Вплив пружних деформацій валків і штаби на силу прокатування при цьому виявляється найменшим.

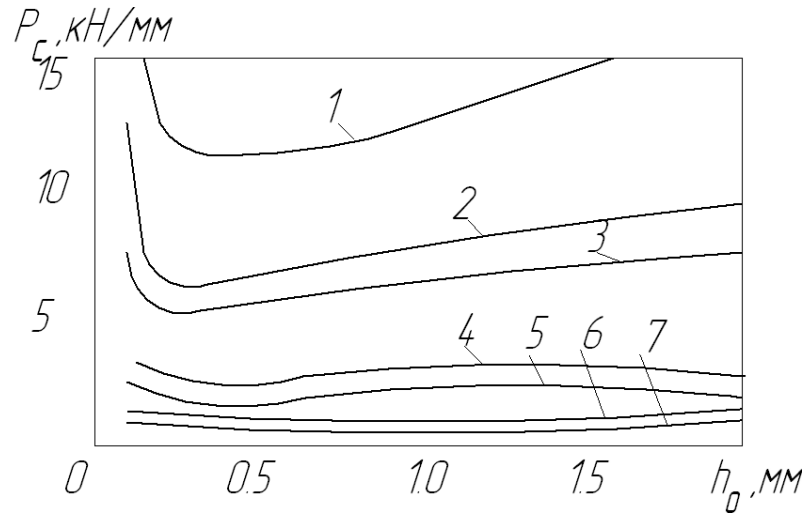


Рисунок 1.7 - Залежності $P_c = \varphi(h_0)$ побудовані за наслідками інженерної моделі (сталь 08кп; $\varepsilon=0$; $R=300\text{мм}$; $q_0=q_1=0$, $f=0,03$):

1 – $\varepsilon=0,5$; 2 – $\varepsilon=0,3$; 3 – $\varepsilon=0,2$; 4 – $\varepsilon=0,1$; 5 – $\varepsilon=0,05$; 6 – $\varepsilon=0,01$; 7 – $\varepsilon=0,005$;

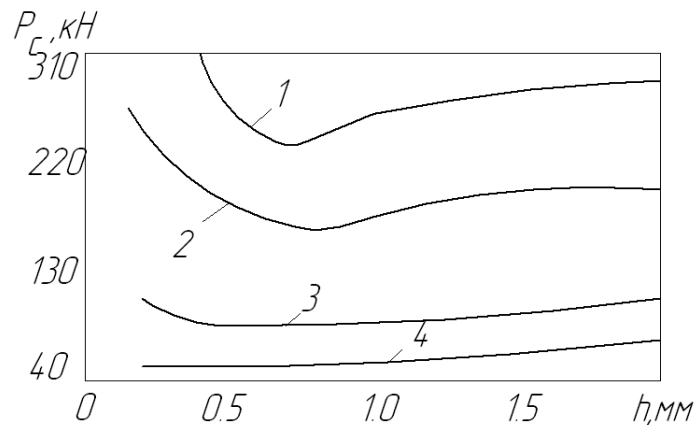


Рисунок 1.8 - Експериментальні залежності $P_c = \varphi(h_0)$, побудовані за даними прокатки відпалених зразків із сталі 08кп на стані 210:

1 – $\varepsilon=0,3$; 2 – $\varepsilon=0,2$; 3 – $\varepsilon=0,1$; 4 – $\varepsilon=0,05$;

При $h_0 < h_{от}$ вплив пружних деформацій валків і штаби на силу прокатки зростає. У даних умовах превалюючий вплив на всі параметри процесу холодної прокатки починають надавати пружні деформації інструменту і металу. Пружні деформації інструменту і металу збільшують інтенсивність зростання нормальних контактних напруг і довжини дуги

контакту, що викликає додаткове зростання сили прокатування. У міру зменшення товщини штаби інтенсивність зростання нормальних контактних напруг і довжини дуги контакту ще більше збільшується. З цієї причини збільшується інтенсивність зростання сили прокатування, що сприяє зниженню обжимаючої здібності кліті. Знижується також енергетична ефективність процесу, оскільки із збільшенням довжини дуги контакту зростає частка енергії, що витрачається на подолання опору сил тертя у вогнище деформації.

З викладеного виходить, що визначення умов ведення процесу холодного прокатування з мінімальною силою представляє науковий і практичний інтерес.

Як вже наголошувалося визначення умов ведення процесу холодною прокатай з мінімальною силою зводиться до знаходження мінімуму функції $P_c = \varphi(h_0)$, тобто до рішення рівняння (7).

Визначення умов ведення процесу з мінімальною силою найактуальніше при плющенні тонких штаб у валяннях великого діаметру, тобто при великих значеннях параметра R/h_0 . Проте у ряді випадків визначення умов прокатування з мінімальною силою може бути актуальним і при холодному плющенні товстих штаб, тобто при відносно невеликих значеннях параметра R/h_0 (наприклад, при плющенні листів з високоміцних матеріалів на станах поаркушевого прокатування, де значення коефіцієнта тертя досягає 0,08...0,12 і натягнення відсутнє, а також на деяких штабових станах, коли прокатують штаби з високоміцних матеріалів з низькими питомими натягненнями і малоефективними технологічними мастилами).

Слід зазначити, що створення необхідних умов для ведення процесу холодного прокатування з мінімальною силою на діючих станах пов'язано з визначеними, часом непереборними, труднощами організаційного і технологічного характеру. Ці труднощі полягають в прийнятих на кожному заводі режимах обтиснень, технологічних схемах, що склалися, традиціях і навиках персоналу. Наприклад, важко змінити товщину початкового або

проміжного підкату, вид технологічного мастила і радіус валків, а іноді режими натягнень і обтиснень на конкретному стані. Тому сенс даного дослідження бачиться не тільки і не стільки у визначенні умов холодного прокатування з мінімальною силою, з метою реалізації такого процесу, скільки у виявленні умов ведення процесу холодного прокатування в енергетично, сприятливої області. Цим умовам задовольняє нерівність

$$h_o \geq h_{от}$$

Таким чином, в результаті рішення рівняння (7) набуваємо чисельного значення одного з технологічних обмежень, тобто значення товщини штаби $h_{от}$.

1.3 Перспективи розвитку виробництва та пропозиції щодо його вдосконалення

Сьогодні близько 40...45 % обсягу виробництва тонколистової сталі випускається у вигляді холоднокатаних листів. Основна кількість цієї сталі випускається для автомобільної й машинобудівної промисловості.

Холодною прокаткою виготовляють штаби товщиною 0,35...2 мм, шириною 700...2300 мм і масою до 45 т. У якості заготовки застосовується тонколистова гарячекатана сталь товщиною 1,8...6 мм, шириною 700...2300 мм, масою рулону до 45 т.

Технологічний процес виробництва ХЛС дуже складний, тому що включає велику кількість переділів, вимагає застосування різноманітного й складного устаткування й пов'язаний з великими енерговитратами. У зв'язку із цим капіталовкладення при виробництві ХЛС на 20 – 25 %, а експлуатаційні витрати на 10 % вище, ніж при виробництві ТЛГС.

Основна кількість ХЛС (80...85 %) виготовляється з низьковуглецевої сталі, 10 – 15 % – із середньо- і високовуглецевої сталі, близько 5 – 7 % – з низько- і середньолегованої і 1 – 1,5 % - з високолегованих сталей (головним чином – нержавіючих).

Залежно від призначення ХЛС виготовляють із вуглецевої сталі звичайної якості, якісної конструкційної й інструментальної.

Вуглецева сталь звичайної якості (сталь 0, сталь 2, декапирована, оцинкована) поставляється без особливих вимог, тому що при подальшій обробці ця сталь не зазнає глибокої витяжки. ХЛС із цієї сталі застосовується в машинобудуванні, для виготовлення покриття, посуду, арматури й ін.

З якісної вуглецевої сталі прокатується штаби, призначені для виготовлення виробів листовим штампуванням. Особливе місце займають сталі 08кп, 08Ю, які призначені для виготовлення деталей автомобілів. По здатності до витяжки ХЛС, відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 9045-80, поділяють на три групи: досить глибоку (ДГВ), глибоку (ГВ) і нормальну (НВ). Відповідно до зазначених груп витяжки встановлені норми механічних властивостей. Сталь марок 08Ю та 08кп, застосовуваних для штампування складних деталей, поділяють на дві групи: ОСВ — особливо складну витяжку й СВ — складну витяжку. Основним показником штампуємості є співвідношення межі текучості до межі міцності σ_T/σ_B , яке повинне бути не більше 0,65.

Особливо високі вимоги пред'являються до якості поверхні ХЛС. Поверхня готових листів повинна бути матовою або глянсовою. На поверхні листів не допускаються плівки, окалина, подряпини, раковини, міхури, розшарування, іржа, кольори мінливості й ін. Велике значення для витяжки під штампом має рельєф поверхні листа. Для автомобільних деталей виготовляють штаби з матовою поверхнею, яку одержують на насічених валках дресирувальних станів. Така поверхня добре сприймає фарбування й сприяє кращій штампуємості листа [20].

Штаби для глибокої витяжки повинні мати високу точність розмірів і форми, а якщо ні, то їх бракують при штампуванні виробів.

Сумарне обтиснення при холодному прокатуванні визначають з урахуванням вимог, які пропонуються до якості готової продукції. Але при всіх умовах величина сумарного обтиснення залежить від кінцевої товщини,

ширини й матеріалу штаби, можливостей прокатного стану. Зростання сили прокатки пропорціональне зростанню ширини штаби. При прокатуванні штаб завширшки $B = 1250 - 1500$ мм (B/l 0,61 - 0,79) для запобігання перевантаження двигунів використовують зменшення швидкості прокатки [22].

Особливістю режимів деформації на ШСХП є групування прокату штаб за марками сталей, з близькими величинами вихідної межі плинності, до товщини гарячекатаного прокату.

Одним з недоліків по рулонної прокатки є наявність потовщених необтиснених кінців штаби довжиною 8 - 10 м. Але виникають труднощі з їх прокаткою на тонкі штаби через відсутність натягу. Наявність потовщених кінців збільшує витрату металу на одну тонну готового прокату на 3 - 4 %.

Для підвищення якості холоднокатаної штаби і усунення вищезазначених дефектів розроблені наступні заходи:

- 1) попередній обтиск стовщених кінців гарячекатаної штаби в спеціальній кліті, установленій в травильній лінії;
- 2) заміна розмотувача стану на розмотувач плаваючого типу з консольним барабаном для приймання рулону із завантажувального візка і установки його по осі стану і автоматичного центрування штаби при прокатуванні, створення стабільного натягу при розмотуванні;
- 3) прискорення роботи валків стану на 0,02 - 0,1 м/с². Це забезпечує збільшення температури до кінця довжини штаби за рахунок підвищення роботи деформації та разом з цим зниження різнотовщинності.

При прискоренні валків при прокатуванні заднього кінця штаба нагрівається на 7 – 10 °С, зменшуються напруга плинну металу і коефіцієнт тертя, що і викликає зниження середньої нормальної контактної напруги та сили прокатки. Так, по даним [7], при прокатуванні штаб 1,5x1050 мм із прискоренням 0,05 м/с² на довжині 550 м товщина штаби зменшується на 0,15 мм. Довжина стовщеної кінцевої ділянки штаб значно менше і становить усього 30...40 м.

2 Дослідницько-розрахункова частина

2.1 Математичне планування дослідження

З метою вивчення впливу режиму прокатки на енергосилові параметри прокатки використовуємо повний факторний експеримент по методу Бокса-Уілсона.

Фактори:

X_1 – відносне обтиснення у 2-й кліті, %;

X_2 – відносне обтиснення у 3-й кліті, %;

X_3 – відносне обтиснення у 4-й кліті, %;

Параметри оптимізації:

Y_1 – зусилля прокатки, МН (Р);

Y_2 – момент прокатки, МН·м ($M_{пр}$);

Y_3 – момент двигуна, МН·м ($M_{дв}$);

Y_4 – потужність двигуна, кВт ($N_{дв}$).

Досліджувані фактори, характер їхніх змін і схеми кодування приведені в таблиці 2.1

Фактор, позначений " X_0 " – так називаємо фіктивну перемінну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт " b_0 ".

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

Таблиця 2.1 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	X ₁	X ₂	X ₃
Основний рівень	27,5	27,5	15
Інтервал варіювання	2,5	2,5	5
Нижній рівень (кодовані значення -1, -)	25	25	10
Верхній рівень (кодовані значення +1, +)	30	30	20

Таблиця 2.2 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер дослідів	Значення факторів в кодованому вигляді			
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досліди варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди

на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії досліду S_y проводимо по формулі:

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

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дублю;

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

Y_o – середнє арифметичне результатів усіх дублів;

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

Для визначення дисперсії досліду були організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації:

досвід 9 – 11,78; досвід 10 – 11,67; досвід 11 – 11,50.

Визначаємо S_y^2 . Будуємо розрахункову таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослі д	y_e	$ y_{oe} - y_o $	Δy_e^2	$\Sigma \Delta y$
9	11,68	0,03	0,0009	8 0,003
10	11,67	0,02	0,0004	
11	11,60	0,05	0,0025	
	$y_o =$ 11,65			

Тоді

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)}{f_1} = \frac{0,0038}{3-1} = 0,0019;$$

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

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (2)$$

де b_j – значення j -го коефіцієнту регресії;

X_{jn} – значення j -го фактору в n -ом досліді в кодованому вигляді;

Y_n – значення параметру оптимізації в n -ом досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті отримуємо модель, котра має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j$$

В реалізації матриці планування отримані наступні результати (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Результати дослідів

№№	Дослід							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P , МН	11,075	11,1	12,534	12,438	12,258	12,256	11,308	11,883
M_{np} , МН·м	0,108	0,150	0,159	0,136	0,109	0,166	0,123	0,101
$M_{дв}$, МН·м	0,103	0,176	0,186	0,162	0,130	0,194	0,146	0,123
$N_{дв} \times 10^6$, кВт	1,393	3,395	5,145	5,819	1,618	3,254	3,274	3,189

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей:

$$b_0 = 1/8 \cdot [11,075 + 11,1 + 12,534 + 12,438 + 12,258 + 12,256 + 11,308 + 11,883] = 11,857;$$

$$b_1 = 1/8 \cdot [11,075 - 11,1 + 12,534 - 12,438 + 12,258 - 12,256 + 11,308 - 11,883] = -0,063;$$

$$b_2 = 1/8 \cdot [11,075 + 11,1 - 12,534 - 12,438 + 12,258 + 12,256 - 11,308 - 11,883] = -0,184;$$

$$b_3 = 1/8 \cdot [11,075 + 11,1 + 12,534 + 12,438 - 12,258 - 12,256 - 11,308 - 11,883] = -0,070;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_1 = 11,857 - 0,063 \cdot X_1 - 0,184 \cdot X_2 - 0,070 \cdot X_3$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації.

Отримані лінійні моделі мають попередньо наступний вид:

$$Y_2 = 0,132 - 0,01 \cdot X_1 + 0,002 \cdot X_2 + 0,007 \cdot X_3$$

$$Y_3 = 0,153 - 0,011 \cdot X_1 - 0,002 \cdot X_2 + 0,004 \cdot X_3$$

$$Y_4 = 3,386 - 0,528 \cdot X_1 - 0,971 \cdot X_2 + 0,552 \cdot X_3$$

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

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значимість коефіцієнтів регресії. У статистику прийнято здійснювати перевірку значимості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Ст'юдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi} \quad (3)$$

де S_{bi} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (4)$$

t_{α, f_1} – значення критерію Ст'юдента, що вибирається в залежності від рівня значимості α і числа ступенів волі при визначенні дисперсії дослідження f_1 .

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

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0,0019}{8}} = \pm 0,0154$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ и $f_1 = 2$ значення критерію Ст'юдента, рівне 4,3.

Визначаємо довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,0154 = \pm 0,066 ;$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт "b₁" виявився статично не значимий, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$Y_1 = 11,857 - 0,184 \cdot X_2 - 0,070 \cdot X_3 ;$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації.

$$Y_2 = 0,132 - 0,01 \cdot X_1 + 0,007 \cdot X_3$$

$$Y_3 = 0,153 - 0,011 \cdot X_1 + 0,004 \cdot X_3$$

$$Y_4 = 3,386 - 0,971 \cdot X_2 + 0,552 \cdot X_3$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх дослідів значення "X_i" у кодованому виді, що беремо з таблиці 2.4. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 2.5. Таблиця 2.5. складаємо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх досвідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації. Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{расч})^2}{f_2} \quad (5)$$

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

3. Визначають розрахункові значення критерію Фішера порівнюють з табличним, котре вибирають з таблиці у залежності від рівня значимості і числа ступенів волі f_1, f_2 .

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} \quad (6)$$

Таблиця 2.5 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δy	Δy^2
	експер.	розрах.		
1	11,075	11,603	0,528	0,279
2	11,1	11,603	0,503	0,253
3	12,534	11,971	0,563	0,317
4	12,438	11,971	0,467	0,218
5	12,258	11,743	0,515	0,265
6	12,256	11,743	0,513	0,263
7	11,308	12,111	0,803	0,645
8	11,883	12,111	0,228	0,052

$$\Sigma = 2,292$$

$$S_{неад}^2 = \frac{2,292}{8-3} = 0,458; \quad F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{0,458}{0,0019} = 15,4;$$

З таблиці (2.5) для $\alpha = 0,05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,25. Таким чином, умова адекватності моделі виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень оптимізуємих параметрів. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель

описує процес впливання факторів на коефіцієнт тертя тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Аналогічно проводимо перевірку критерію Фішера для інших лінійних моделей.

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

Крім того, отриману залежність можна представити графічно у виді впливу окремих факторів на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що всі інші фактори фіксують на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення фактора X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком "-"). Потім у перетворене (спрошене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора X_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто -1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність зусилля прокатки від відносного обтиснення у другій кліті (фактор X_2) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$Y_1 = 11,857 - 0,184 \cdot X_2; \text{ Визначимо } u \text{ для випадків, коли } X_1 = -1; 0; +1.$$

Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення u , рівні:

$$u_1 = 12,044; u_2 = 11,857; u_3 = 11,67.$$

Аналогічно представимо графічну залежність зусилля прокатки від відносного обтиснення у 3-й кліті (фактор X_3) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$Y_1 = 11,857 - 0,070 \cdot X_3; \text{ Визначимо } v \text{ для випадків, коли } X_1 = -1; 0; +1.$$

Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення v , рівні:

$$v_1 = 11,927; v_2 = 11,857; v_3 = 11,787.$$

Будуємо графічні залежності (див. рис. 2.1-2.8).

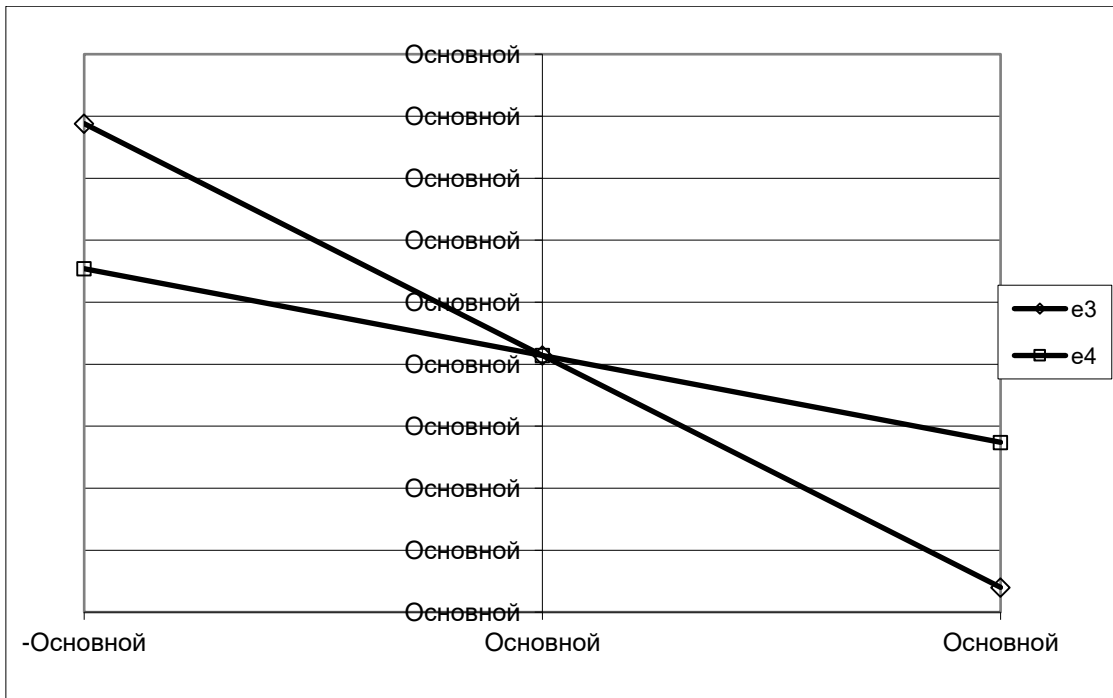


Рис.2.1. Графічна залежність зусилля прокатки від відносного обтиснення у 3-й та у 4-й кліті в кодованому виді

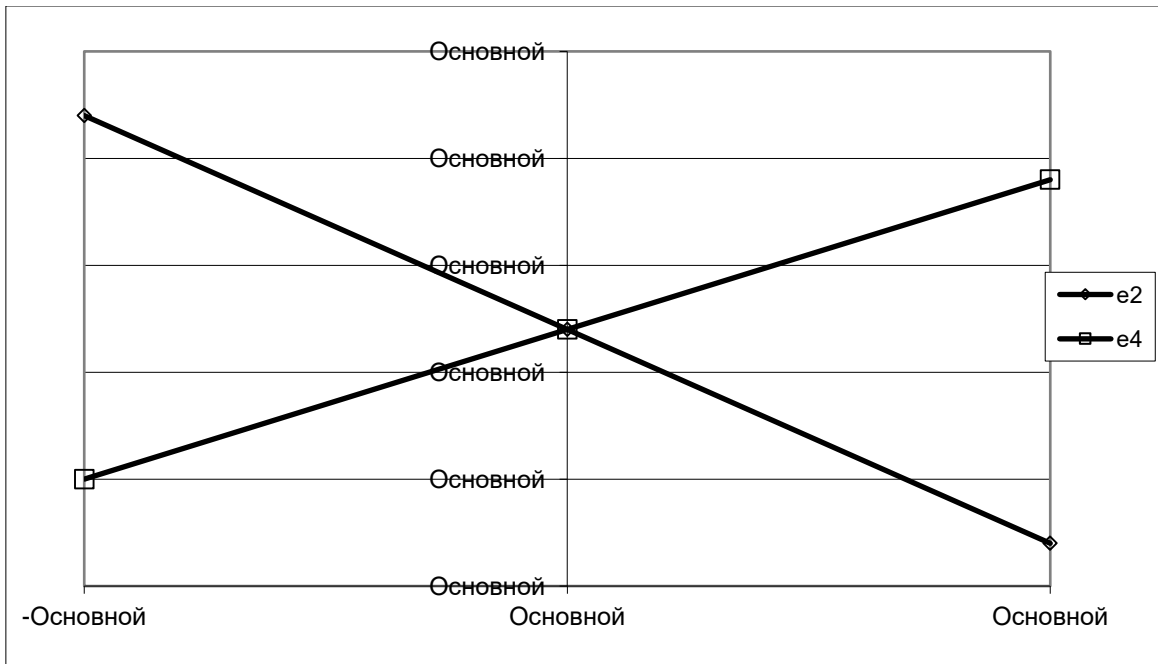


Рис.2.2 Графічна залежність моменту прокатки від відносного обтиснення у 2-й та у 4-й кліті в кодованому виді

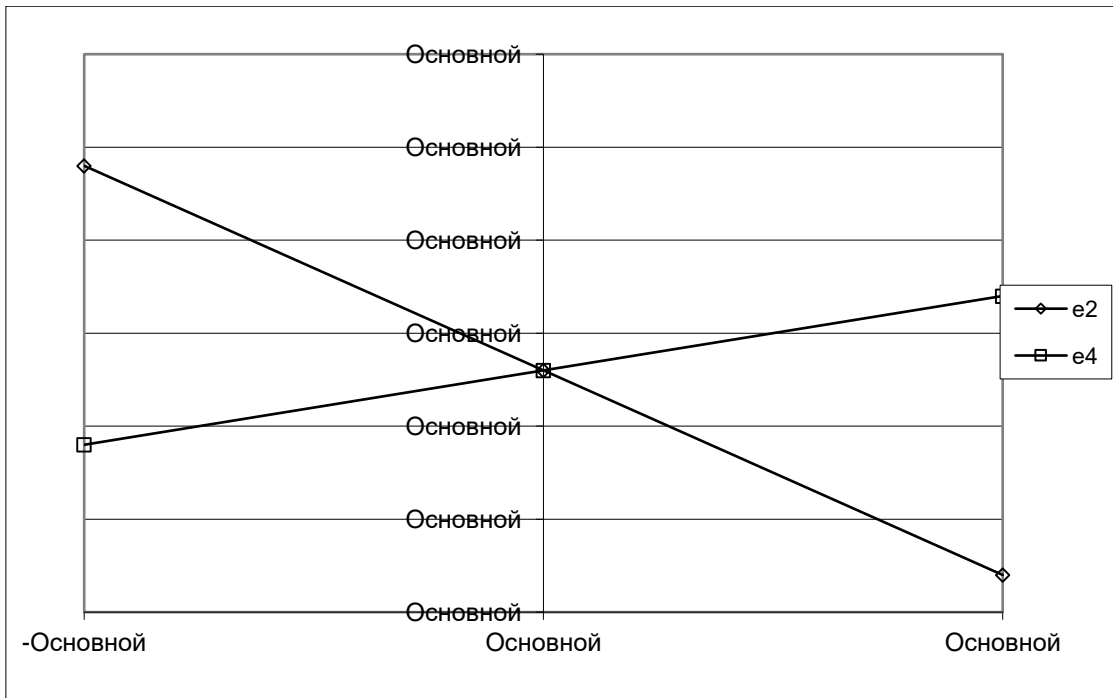


Рис.2.3. Графічна залежність моменту двигуна від відносного обтиснення у 2-й та у 4-й кліті в кодованому виді

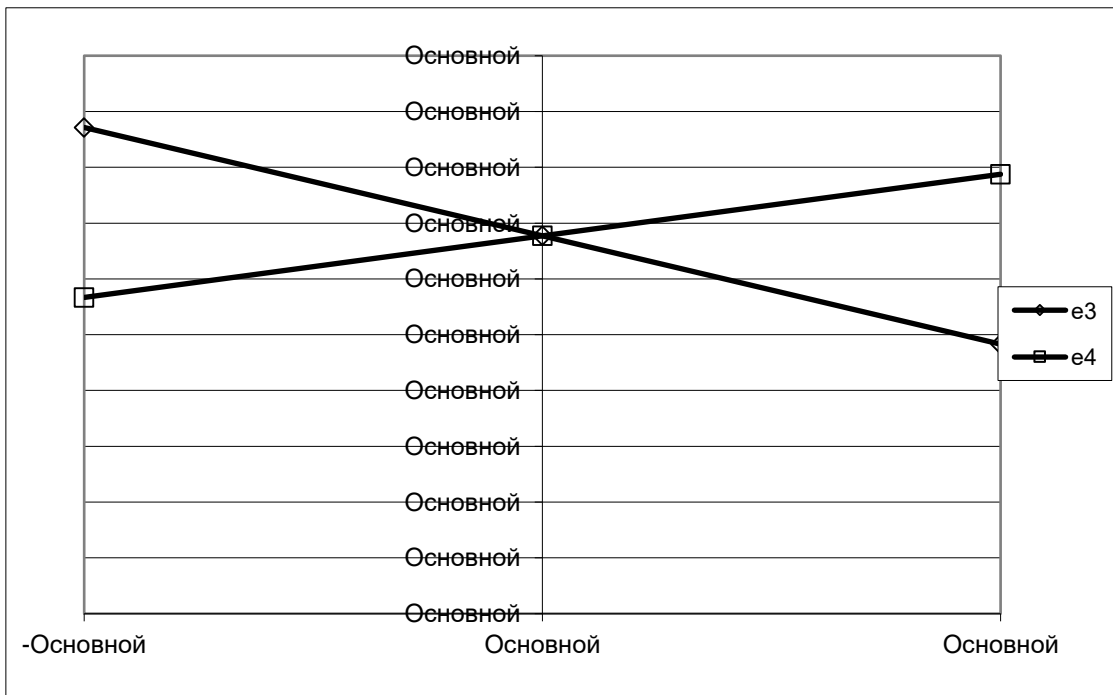


Рис.2.4. Графічна залежність потужності двигуна від відносного обтиснення у 3-й та у 4-й кліті в кодованому виді

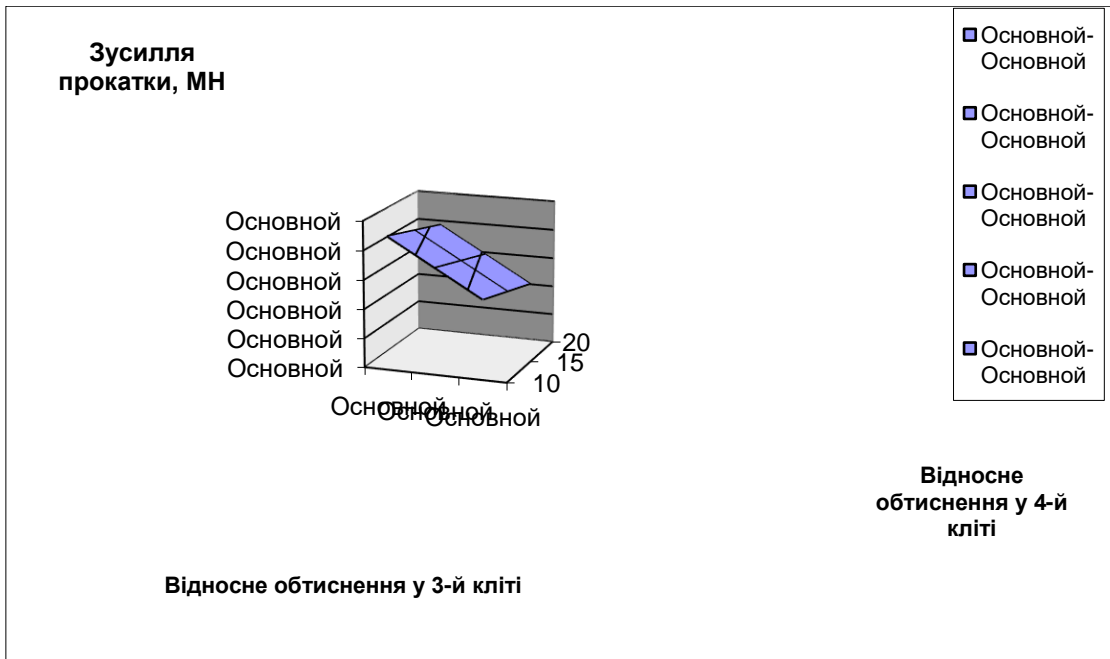


Рис.2.5. Оптимальні поверхні відгуку зусилля прокатки

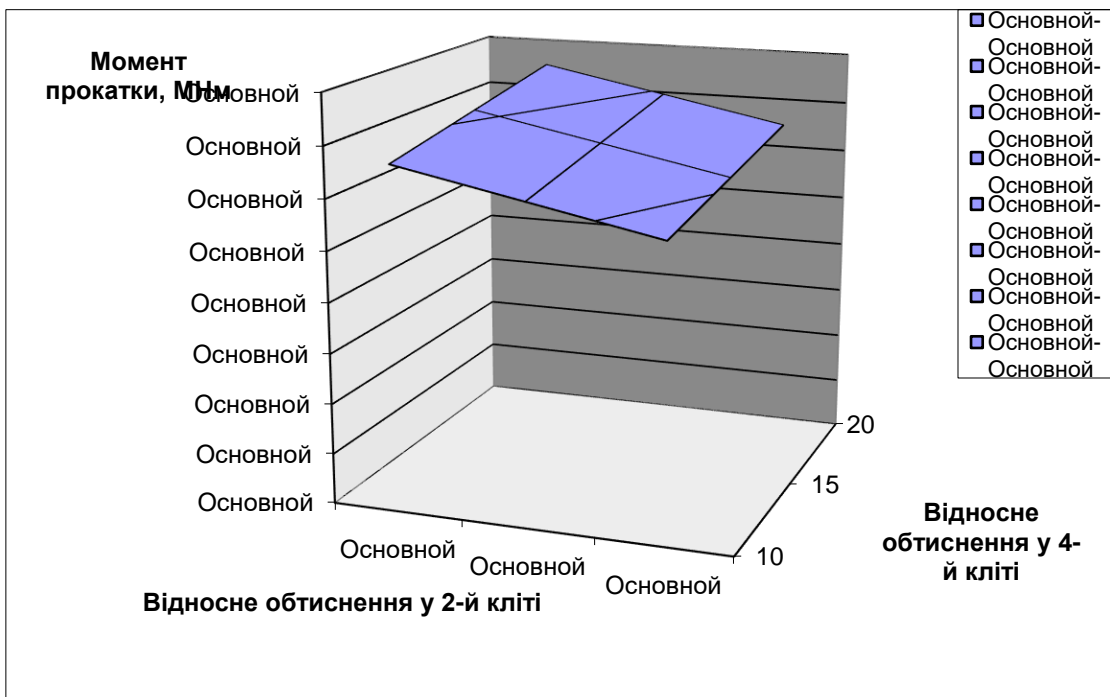


Рис.2.6. Оптимальні поверхні відгуку моменту прокатки

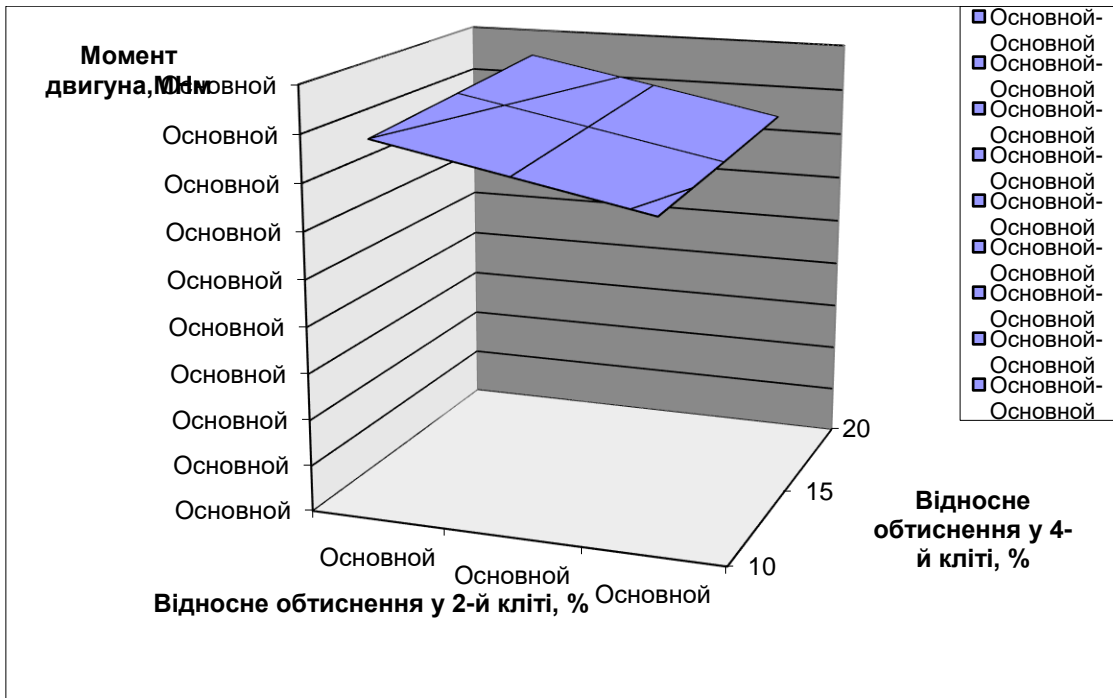


Рис.2.7 Оптимальні поверхні відгуку моменту двигуна

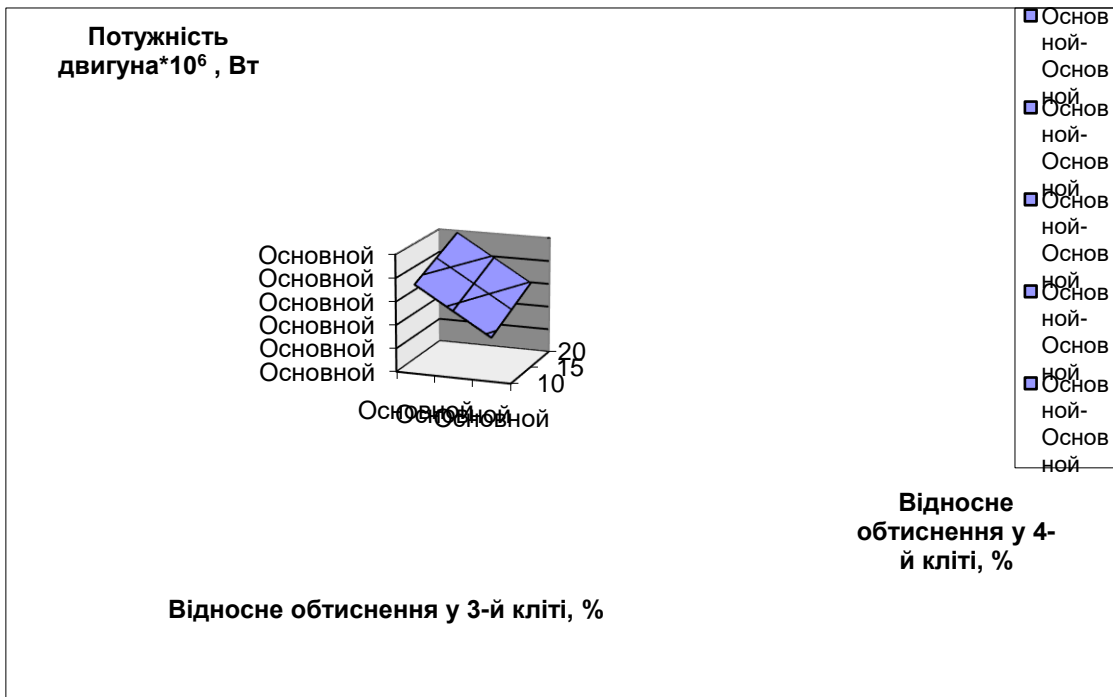


Рис.2.8. Оптимальні поверхні відгуку потужності двигуна

2.2 Обґрунтування завдання та методика дослідження

Для оптимізації холодної прокатки необхідно ретельніше роздивитися ряд чинників тих, що роблять вплив на процес прокатки.

Для поліпшення умов деформації і зменшення випадків обривності штаб необхідно докладніше зупинитися на розподілі питомих натягнень в штабі.

Процес холодного прокатування штаб характерний нерівномірністю розподілу витяжок і питомих натягнень по їх ширині [17]. При цьому, як показують досліди, питомі натягнення на кромках штаби помітно (у 1,5—2 рази) вище, ніж в середній частині ширини штаби. Це свідчить про наявність у середині ширини вищих витяжок і деякої коробоватості штаби. Оскільки прокатування з коробоватістю забезпечує стійкість штаби у валяннях (відсутність зсувів уздовж їх осі), то цей спосіб прокатування застосовують на багатьох станах. Відмінність повинна, очевидно, полягати в ступені відмінності питомих натягнень на кромці і у середині ширини штаби. З метою подальшого вивчення цього питання проведені дослідження питомих натягнень на ряду станів холодного прокатування.

Вимірювання питомих натягнень здійснювали магнітоанізотропним датчиком з відстанню між полюсами котушок 20 мм. Роботу датчика забезпечували виборчий підсилювач, фазочутливий детектор, генератор і вузол живлення. Свідчення датчика фіксували по стрілочному індикатору. Переносний прилад має наступні характеристики: живлення датчика 5.8 В; частота 360 Гц; вихідна напруга датчика до 50 мВ; опір обмоток: первинної 57 Ом; вторинної 69 Ом; коефіцієнт передачі виборчого підсилювача 30.

Досліди по вимірюванню питомих натягнень виконані на безперервних станах 1680 і 650. При плющенні штаби 2x1100 мм із сталі марки 08ГСЮТ на безперервному стані 1680 напруги зміряні на відстані 1700 мм від осі валків (рис. 2.9).

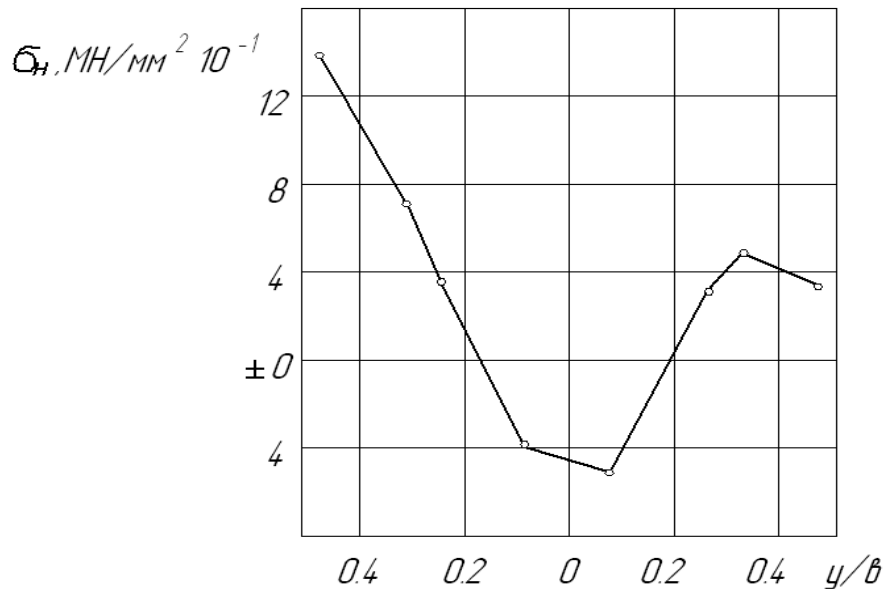


Рисунок 2.9. Розподіл подовжніх зусиль в штабі.

Помітна нерівномірність питомих натягнень виявлена на безперервному стані 650. При плющенні на цьому стані по всій ширині штаб спостерігається дія розтягуючих напруг, причому на кромках штаб відношення $\sigma_n/\sigma_{н.о} > 1,5 \dots 2$ (де, σ_n — поточне питома натягнення; $\sigma_{н.о}$ — питома натягнення по осі штаби) (рис. 2.10).

Аналіз даних рис. 1 і 2 свідчить про те, що епюри питомих натягнень в штабах нерівномірні на значній відстані від осі валків (при $L > B$). Це відрізняє досліди на промисловому стані від залежностей, одержаних в лабораторних умовах, де нерівномірність розподілу питомих натягнень затухає при $L/B \leq 1$. Відмічена відмінність обумовлена деякою коробоватістю штаби, при якій основна частка питомих натягнень розташовується на краєвих ділянках ширини штаби на всій вільній ділянці міжкліті. При інших параметрах прокатування (інших активної створюючої валків, форми і товщині штаби, швидкості прокатки і т. п.) значення питомих натягнень σ_n можуть дещо відрізнятися від даного сьогодення дослідів, проте загальний характер зміни σ_n по ширині штаби при плющенні з коробоватістю буде аналогічним.

Велика відмінність у величинах питомих натягнень на кромках і у середині

ширини штаби не є технологічно необхідним. Подібні епюри напруг можливі тільки у зв'язку з відсутністю засобів контролю розподілу їх по ширині штаби, а отже, відсутністю даних для регулювання процесу прокатування з метою вирівнювання подовжніх напруг.

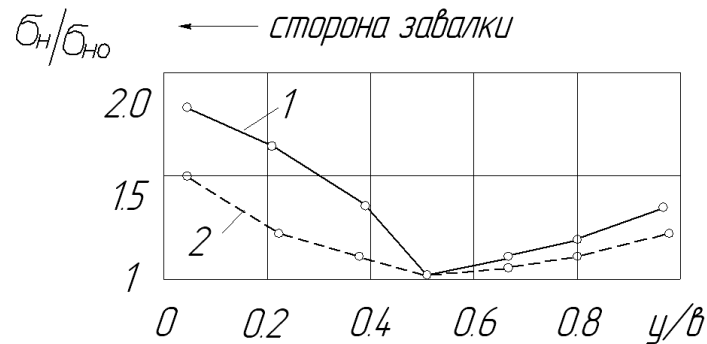


Рисунок 2.10. Зміна $\sigma_n / \sigma_{но}$ по ширині штаби: 1,2 – штаба 0,3x750 після третьої кліті чотиреклетьового стану (1 – на відстані 1000, 2 - на відстані 2000 від осі валків).

Вирівнювання подовжніх напруг по ширині штаби забезпечить поліпшення умов деформації і зменшення випадків обривності штаб.

Процес тонколистового прокатування завжди супроводжується наявністю нерівномірної деформації як по ширині штаби, так і по її довжині. Ця нерівномірність визначається конструктивними параметрами прокатних станів, різними технологічними особливостями прокатки, а також роботою систем регулювання товщини.

При двовимірній деформації, коли коефіцієнт вирівнювання разом з

$$K_B = \frac{\frac{\Delta H}{H}}{\frac{\Delta h}{h}} > 1 \quad (36)$$

виправленням подовжньої різновтовщинності холоднокатаних штаб, має місце погіршення їх площинності, викликане нерівномірністю деформації в поперечному напрямі.

$$\frac{a}{l} = f\left(\frac{\Delta\mu}{\mu}, \varepsilon, H, B\right) \quad (37)$$

a – амплітуда півхвилі;

l – довжина півхвилі;

$\frac{\Delta\mu}{\mu}$ – нерівномірність деформації по ширині штаби;

ε – відносне обтискання;

H – товщина прокатуваної штаби;

B – ширина прокатуваної штаби;

Ця залежність теоретично досліджена, експериментально ж досліджень не проводили. Це пояснюється винятковими труднощами форми виміру штаби в промислових умовах.

Температурні умови прокатки. Розподіл температури по довжині бочки валка.

Розподіл температури по довжині бочки валків залежить від температури штаби і умов охолодження, марки прокатуваної сталі, її ширини, наявності скосів на опорних валяннях і рівномірності подачі охолоджуючої рідини по довжині бочки валків а більшості випадків знаходиться в наступних межах: різниця температур між серединою і краєм бочки 5 – 25 °С, між правим і лівим краєм 0 – 5 °С [25]. Так для чотиреклетьевого стану 1680 при прокатці штаб шириною менше 1250 мм температурний перепад по довжині бочки робочих валків складає при вихідній товщині штаб $h=0.5 - 1.0$ мм 7 – 15 °С, при $h>1,0$ мм 5 – 10 °С, а для штаб шириною більше 1250 мм 1 – 6 °С. При регулюванні теплового профілю валків у разі неправильно вибраної їх початкової профілізації температурний перепад може досягати 60 °С.

Для зменшення температурного перепаду по перетину валка температура охолоджуючої рідини повинна бути вище 20 °С. У літній час температура емульсії для типових умов роботи безперервного стану

холодного прокатування дорівнює 50 – 55 °С, в зимове 30 – 35 °С. Оскільки температура валків не повинна перевищувати 60 – 70 °С, то максимальна температура охолоджуючої рідини повинна бути не більше 55 – 60 °С.

Розподіл обтиснень по клітках стану є одним з найважливіших чинників, що визначають тепловий режим. Температура штаби на останніх клітках різко підвищується у разі розподілу обтиснень по тому, що зростає від першої до останньої клітки закону. Це торкається перш за все температурних умов деформацій в останніх клітках стану. Унаслідок тепла формозмінення і тепло тертя, що виділяється у вогнищі деформації, температура штаби і поверхневого шару робочих валків на виході з вогнища деформації від першої клітки до останньої підвищується і із збільшенням швидкості прокатування може досягати значень, відповідних температурі термічного розкладання технологічного мастила. Тоді на робочих валках і штабі з'являються характерні дефекти теплового походження ("теплові подряпини", "лимонна кірка" і ін.). Для усунення вказаних дефектів звичайно вдаються до зниження швидкості прокатування, що приводить до зменшення продуктивності станів. Слід зазначити, що основною причиною, перешкоджаючої досягненню проектної швидкості на багатьох вітчизняних і зарубіжних безперервних станах холодного прокатування, є важкі температурні умови прокатки.

Великий вплив на стабільність і якість прокатування робить температура емульсії. Стабільність процесу прокатування в значній мірі залежить від якості форми прокатуваних штаб. Для отримання рівних штаб необхідно в процесі прокатування постійно регулювати форму міжвалкового зазору так, щоб забезпечити постійність витяжок по ширині штаби. Теплове регулювання профілю прокатних валків, хоч і має ряд недоліків (інерційність і трудомісткість) але в сукупності з гідроізгибом дозволяє впливати на розміри прокатної щілини і одержувати необхідну форму штаби.

При холодному плющенні за рахунок тепла деформації і зовнішнього тертя відбувається інтенсивний нагрів робочих валків; для його зменшення

на валяння і штабу подають змащувально-охолоджуючу рідину (емульсію).

Практика роботи чотирьох клітьового стану холодної прокатки показала, що температура робочих валків коливається звичайно в межах від 50 до 70 °С залежно від умов прокатування і режиму охолодження; відповідно і міняється і теплова опуклість валків.

Таблиця 2.6. Температурний режим робочих валків за різних умов охолодження.

Кліть	$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	$t_e, ^\circ\text{C}$	$t_{\max} - t_e \quad ^\circ\text{C}$	$Q_e, \text{ м}^3/\text{год}$	Показники прокатки і форми штаби
3	53/50	30	23/20	400	Н, Нз (А=6 – 10)
	55/51	35	20/16	430	Н, Задов(А=4 – 6)
	57/54	40	17/14	470	С, Д (А=2 – 5)
	60/51	45	15/12	520	С, Д (А=2 – 4)
4	50/48	30	20/18	400	Н, Нз (А=6 – 8)
	53/60	35	18/15	430	Н, Задов(А=4 – 6)
	55/53	40	15/13	470	С, Д (А=2 – 5)
	58/56	45	13/11	520	С, Д (А=2 – 4)
	60/59	50	10/9	630	С, Д (А=2 – 4)

Зліва від межі – для нижнього валка, справа – для верхнього

t_{\max} – максимальна температура валка;

t_e – температура емульсії;

Q_e – витрата емульсії;

Н, С – процес прокатування нестійкий, стійкий;

Нз, Задов, Д – якість форми штаби – незадовільна, задовільна, добра;

А – амплітуда хвилястості на довжині 1м, мм.

Для отримання якісних штаб важливо підтримувати температуру робочих валків на певному рівні незалежно від темпу прокатування. Це

досягається зменшенням до мінімуму різниці між температурою валків і емульсії.

Спочатку прокатку штаб вели на емульсії з температурою 30 °С, що забезпечувало ефективне охолодження валків під час роботи стану, але негативно позначалося на подальшому плющенні після пауз і зупинок, оскільки приводило до втрати теплової опуклості робочих валків і появи хвилястості на штабі.

Було запропоновано підвищити температуру емульсії і одночасно збільшити її витрату. Безпосередньо на стані повели досвід по плющенню штаб на емульсії з температурою 30, 35, 40, 45 і 50 °С по наступній методиці.

Після інтенсивної прокатки 200 – 250 тонн металу одного профілю розміру на емульсії із заданою температурою одночасно у всіх клітках вимірювали температуру робочих валків в семи крапках по довжині бочки контактними хромель-копелевими термопарами. В процесі прокатування фіксували параметри системи охолодження і візуально оцінювали площинну штаб. За одержаними даними побудували криві розподілу температури валків по довжині їх бочок (рис. 2.11 – для четвертої клітки) і визначили різницю між максимальними температурами валків і емульсії за різних умов охолодження (таблиця 2.6.).

Приведені дані показують, що із збільшенням температури емульсії температура поверхні валків зростає трохи, рівномірно відбувається розподіл температури по довжині бочки, знижується різниця між максимальною температурою валків і емульсії при загальному підвищенні їх витрати.

Процес холодної прокатки виявляється найбільш стабільним при температурі валків 55 – 60 °С, яка забезпечується при температурі емульсії 45 – 50 °С і її витраті 420 – 630 м³/ч. При цьому гаряча емульсія володіє хорошою відмиваючою здатністю. При охолодженні емульсією валків на штабі менше відкладається жирових з'єднань, що приводять до утворення сажа при відпалі. Прокатка ж на емульсії з температурою вище 55 °С і вище викликає інтенсивне випаровування, яке перешкоджає візуальному

спостереженню за профілем прокочувальних штаб.

В даний час на стані холодної прокатки Магнітогорського металургійного комбінату валки охолоджуються емульсією з температурою 45 – 50 °С . Це дозволило збільшити продуктивність стану і понизити на 0,5% кількість металу, відсортованого по дефектах площинної.

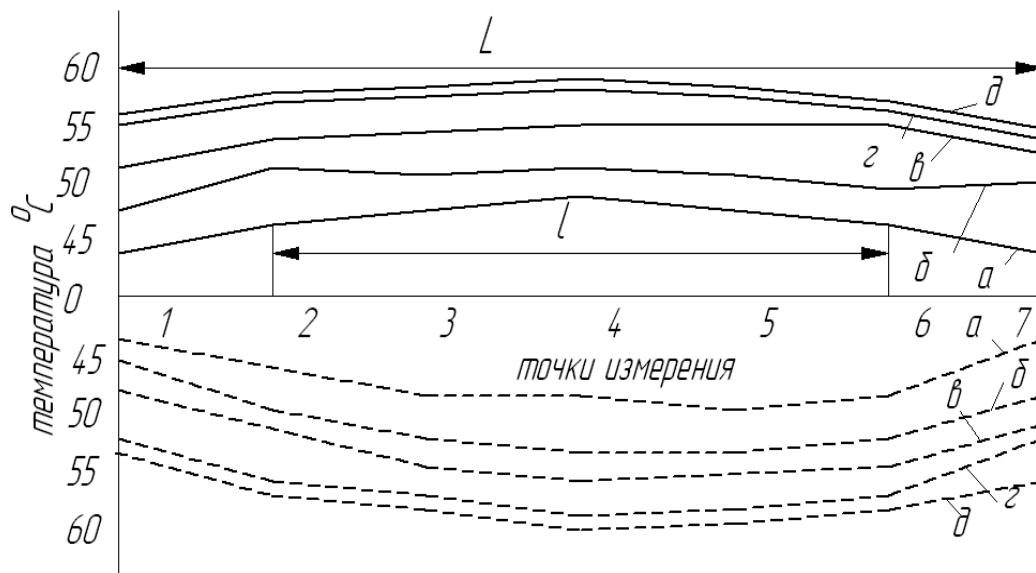


Рисунок 2.11. Розподіл температури по довжині бочок нижнього (штрихові криві) і верхнього (суцільні) робочих валків четвертої кліти.

а – температура емульсії на подачі 31 °С і її витрата 400 м³/ч;

б – температура емульсії на подачі 35 °С і її витрата 430 м³/ч;

у – температура емульсії на подачі 40 °С і її витрата 470 м³/ч;

г – температура емульсії на подачі 50 °С і її витрата 630 м³/ч;

(L – довжина бочки валка, l – ширина штаби)

Для оптимізації режимів обтиснень необхідно розглянути і врахувати вплив ступеня деформації і технологічного мастила на тиск при холодному плющенні.

Дослідження проводили на лабораторному прокатному стані 300 [19], обладнаному сучасною тензометрической апаратурою. Штаби 1x40x1000 мм, вирізані з відпаленої листової низьколегованої 25ХГСА стали, прокатували на стані із швидкістю 4,5 м/с при постійній установці нажимних гвинтів.

Товщину штаб до і після прокатки вимірювали по довжині через кожні 100 мм. Ретельно очищену поверхню підготовлених зразків промивали авіаційним бензином, а потім знежирювали кріоскопічним бензолом.

Змащені емульсією зразки пропускали через спеціальні віджимаючі прогумовані ролики, добиваючись рівномірного розподілу на них мастила, після чого витримували протягом доби до повного просихання вологи і освіти на поверхні тонкого досить міцного твердого шару мастила. У дослідах варіювали відносно обтискання в межах від 10 до 30%. За допомогою осцилографа Н700 на фотопаперову стрічку записували силу прокатування. Вплив на процес прокатування сил тертя, виникаючих на контактній поверхні валків і металу, оцінювали після кожного проходу по коефіцієнту витяжки μ , випередженню S , показнику протяжності зон вогнища деформації

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \sqrt{\frac{S}{\mu-1}} \quad (38)$$

і коефіцієнту напруженого стану

$$n = \frac{p}{k} \quad (39)$$

де

p — досвідчений тиск металу на валяння, кгс/мм²;

$k = 1,15\sigma$ – вимушена межа текучості металу, кгс/мм², який визначали з урахуванням двох зон вогнища деформації по формулі

$$k = 1,15 \left[\mu_{02} + \frac{1}{2} A \left(\frac{\mu-1-S}{\mu} 100 \right)^n + \frac{1}{2} A \left(\frac{S}{1+S} 100 \right)^n \right] \quad (40)$$

одержаної на підставі емпіричної залежності.

Одночасно коефіцієнт напруженого стану визначаємо розрахунковим шляхом по формулі

$$n_{nc} = \frac{n_{OT}l_{OT} + n_{OP}l_{OP}}{l_c} \quad (41)$$

де l_{OT} – довжина дуги торкання зони відставання;

l_{OP} – довжина дуги торкання зони випередження;

p_{OT} – коефіцієнт напруженого стану в зоні відставання;

p_{OP} – коефіцієнт напруженого стану в зоні випередження;

вони визначаються по формулах:

$$n_{OT} = \frac{p_{OT}}{k_{OT}} \quad (42) \qquad n_{OP} = \frac{p_{OP}}{k_{OP}} \quad (43)$$

Величини $k_{OT} = 1,15 \sigma_{OT}$ і $k_{OP} = 1,15 \sigma_{OT}$ – вимушені межі текучості металу по відповідних зонах;

p_{OT} і p_{OP} — тиск в зоні відставання і випередження, визначувані по формулі:

$$p_{OT(OP)} = \frac{1}{F_{OT(OP)}} \int_{h_H}^{H, h_H} p_{xOT(OP)} dx \quad (44)$$

де $F_{OT(OP)} = b l_{OT(OP)}$ — проекція площі торкання раскату з валком відповідно в зоні відставання і випередження.

Поточний тиск визначали по зонах, причому в зоні відставання:

$$p_{xOT} = \frac{k_{OT}}{\delta_{OT}} \left[(\delta_{OP} - 1) \left(\frac{H}{h_{xOT}} \right)^{\delta_{OT}} + 1 \right] \quad (45)$$

а в зоні випередження:

$$p_{xOP} = \frac{k_{OP}}{\delta_{OP}} \left[(\delta_{OP} + 1) \left(\frac{h_{xOP}}{h} \right)^{\delta_{OP}} - 1 \right] \quad (46)$$

де H і h — товщина штаби до і після прокатування;

h_{xOT} і h_{xOP} — поточна товщина штаби відповідно в зоні відставання і випередження;

δ , δ_{OT} і δ_{OP} — показники умов тертя відповідно загальний, в зоні відставання і випередження:

$$\delta = \frac{1}{1 - 2\frac{\gamma}{\alpha}}; \quad \delta_{от} = \frac{1}{1 + 2\frac{\gamma}{\alpha}}; \quad \delta_o^{\Pi} = \frac{1}{\frac{\gamma}{\alpha}}.$$

Ради спрощення рішення задачі з достатнім ступенем точності дугу торкання можна апроксимувати двома хордами в зоні відставання і в зоні випередження, і для рівнянь (45) і (46) величини $h_{ХОТ}$, $h_{ХОП}$ визначати рівняннями прямої хорди в кожній зоні. Після визначення $n_{от}$ і $n_{оп}$ і відповідних перетворень з урахуванням виразу (10) виходить загальний коефіцієнт напруженого стану

$$n_{н.с} = \frac{p}{k} = \frac{h_n}{\Delta h \delta} \left[\left(\frac{H}{h_n} \right)^{\delta_{от}} + \left(\frac{h_n}{h} \right)^{\delta_{оп}} - 2 \right] \quad (47)$$

Як видно з рис. 2.10, із збільшенням ступеня деформації гуркоту і концентрації в мастилі поверхнево активних речовин із спостерігається збільшення витяжки. З підвищенням обтискання і концентрації поверхнево-активних речовин в мастилі А20 спостерігаються пробуксували, унаслідок чого при високих значеннях вищенаведених параметрів прокатування стає майже неможливим (рис. 2.12).

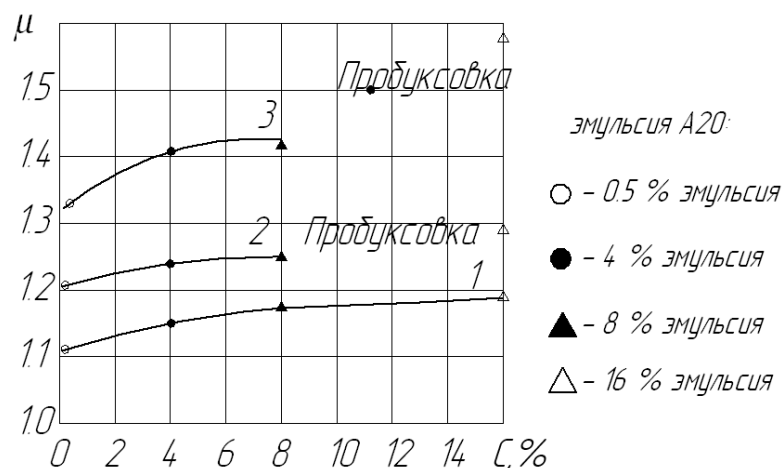


Рис.2.12. Коефіцієнт витяжки при постійній установці валків у випадку холодної прокатки штаб з обтисканням 10%(1), 20%(2), 30%(3) заздалегідь промаслених емульсією А20.

За наслідками спостережень також встановлено, що із збільшенням концентрації поверхнево активних компонентів в мастилі А20 (рис. 2.13 а) випередження, тиск і показник $\gamma/\dot{\alpha}$ при холодному плющенні зменшуються. Закономірність зменшення вказаних параметрів прокатування із збільшенням концентрації емульсії зберігається як у області невеликих, так і вищих обтиснень (рис.2.13) Стабільність процесу прокатування з мастилом емульсією 16% концентрації мастила А20 при обтисканні штаби 30% не робить помітного впливу на зниження тиск (рис 2.13, а) і показник $\gamma/\dot{\alpha}$. Практично це означає, що використання для змащення підкату емульсією високої концентрації не економічно.

Задовільний збіг досвідченого тиску з розрахунковим по формулі (47) дозволяє використовувати уточнену залежність для оцінки ефективності вживаних технологічних мастил і режимів деформацій. Тиск при одному і тому ж значенні концентрації в мастилі поверхнево активних речовин із збільшується із зростанням обтискання (рис. 2.13, б); застосування технологічного мастила з різною концентрацією поверхнево активних компонентів дозволяє впливати на інтенсивність зміни тиску (нахил прямих $p=f(\Pi_\phi)$ до осі абсцис зменшується).

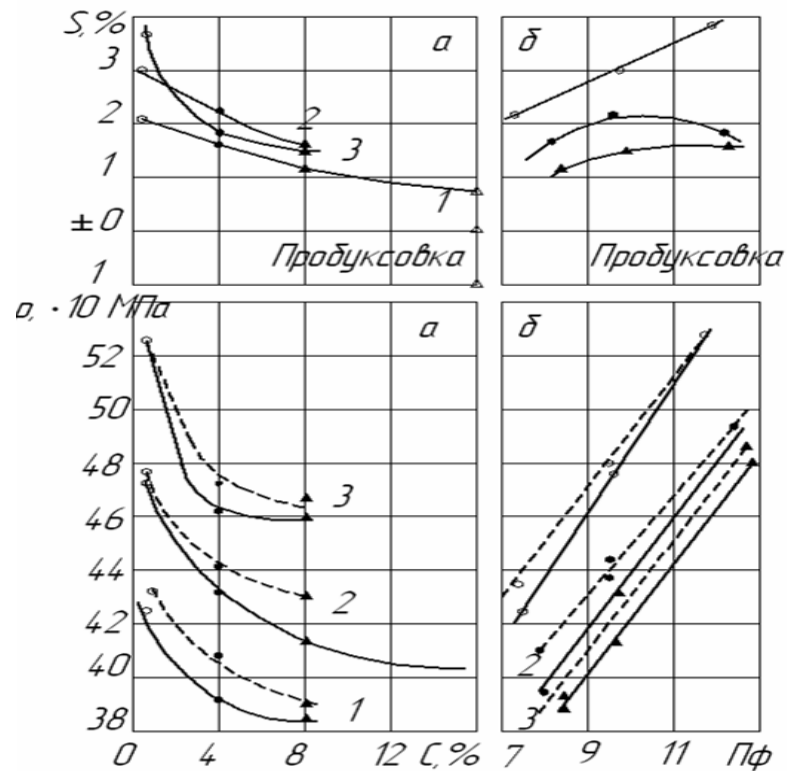


Рисунок 2.13. Випередження і тиск дослідний (—) і розрахунковий (- -) залежності: а – складу мастила; б – показника форми вогнища деформації.

2.3 Розрахунок режимів обтисків комбінату „Запоріжсталь”

Розрахунок режимів обтискень проводимо на прикладі сталі 08ГСЮТ з 3,0 мм до 0,9мм (сумарне обтискання 70%) . Визначаємо параметри процесу виходячи з режимів обтискень [25] використовуваних на комбінаті „Запоріжсталь”.

Кліть №1

Початкові умови:

$h_0=0,003$ – початкова товщина, м;

$h_1=0,0019$ – товщина штаби після прокатки, м;

$R=0,25$ – радіус валків, м;

$b=1$ – ширина штаби, м;

$\sigma_{T0}=300$ – межа текучості до прокатування, МПа;

$\mu=0,08$ – коефіцієнт зовнішнього тертя;

$\sigma_0=10$ – налягнення перед першою кліттю, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h = h_{01} - h_1 \quad (48)$$

$$\Delta h = 1,03 \cdot 10^{-3}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% ; \quad (49)$$

$$\varepsilon = 35$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби,

м:

$$l := \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (50)$$

$$l = 0,016$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя :

$$n^I_{\sigma} = \frac{2(1-\varepsilon) h_n}{\varepsilon(\delta-1) h_1} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad (51)$$

$$n^I_{\sigma=1,266}$$

h_n – висота нейтрального перетину, м;

δ – коефіцієнт;

$$\frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1) \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}} ; \quad (52)$$

$$\frac{h_n}{h_1} = 1,157$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}; \quad (53)$$

$$\delta = 2,469$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p = n^1_{\sigma} 2\tau_s \quad (54)$$

$$p = 692,24$$

τ_s – контактна напруга, МПа;

$$\tau_s = 1.15 \frac{\sigma_{T0} + \sigma_{T1}}{2} \quad (55)$$

$$\tau_s = 273,47$$

σ_{T1} – межа текучості посту прокатування, МПа;

$$\sigma_{T1} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon)^{0,435} \quad (56)$$

$$\sigma_{T1} = 651,2$$

Контактна площа, м²:

$$F = bl \quad (57)$$

$$F = 0,016$$

Зусилля прокатки (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = pF \quad (58)$$

$$P = 11,22$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_c = \sqrt{R\Delta h + x_2^2} + x_2 \quad (59)$$

$$l_c = 0,018 \quad x_2 = \frac{pR}{9500} \quad x_2 = 1,82 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Коефіцієнт δ_l :

$$\delta_1 = \frac{2\mu l_c}{\Delta h} \quad (60)$$

$$\delta_1 = 2,762$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_n = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_1-1} h_1^{\delta_1+1}} \quad (61)$$

$$h_n = 2,35 \cdot 10^{-3}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_1 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_1 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta_1-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_1 + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta_1+2} - 1 \right] \right\} \quad (62)$$

$$p_1 = 632,96$$

ξ_0 – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_1 – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{K_0} \quad (63)$$

$$\xi_0 = 0,971$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{K_1} \quad (64)$$

$$\xi_1 = 0,739$$

σ_1 – натягнення після першої кліти, МПа;

$$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{T1} \quad (65)$$

$$\sigma_1 = 195,36$$

K_0 – вимушена межа текучості до прокатування, МПа;

K_1 – вимушена межа текучості після прокатування, МПа;

$$K_0 = 1,15 \sigma_{T0} \quad (66)$$

$$K_0 = 345$$

$$K_1 = 1,15 \sigma_{T1} \quad (67)$$

$$K_1 = 748,9$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h + x_{22}^2} + x_{22} \quad (68)$$

$$l_{c2} = 0,018$$

$$x_{22} = \frac{pR}{9500} \quad (69)$$

$$x_{22} = 1,66 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h} \quad (70)$$

$$\delta_2 = 2,736$$

Висота нейтрального перетину, м;

$$h_{n2} = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_2-1} h_1^{\delta_2+1}} \quad (71)$$

$$h_{n2} = 2,35 \cdot 10^{-3}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_2 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_2 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_{n2}} \right)^{\delta_2-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_2 + 2} \left[\left(\frac{h_{n2}}{h_1} \right)^{\delta_2+2} - 1 \right] \right\} \quad (72)$$

$$p_2 = 630,98$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = l_{c2} b \quad (73)$$

$$F_2 = 0,018$$

Зусилля прокатки (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = p_2 F_2 \quad (74)$$

$$P = 11,33$$

Момент прокатки, МНм;

$$M_{np} = 2P_2 \psi l_{c2} + R(\sigma_0 - \sigma_1) h_1 b \quad (75)$$

$\psi = 0,49$ – коефіцієнт плеча прокатки [25];

$$M_{np} = 0,109$$

Нейтральний кут, радий;

$$\gamma_1 = \frac{1}{2R} \left[l_{c2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_0)h_1}{2\mu p_2} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right] \quad (76)$$

$$\gamma_1 = 0,03$$

Випередження металу;

$$s_1 = \frac{R}{h_1} (\gamma_1)^2 \quad (77)$$

$$s_1 = 0,115$$

Момент тертя в підшипнику, МНм;

$$M_{mp1} = P_2 d \mu_1 \quad (78)$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp1} = 9,515 \cdot 10^{-3}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм;

$$M_{mp2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np} + M_{mp1}) \quad (79)$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (80)$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp2} = 0,012$$

Момент на двигуні, МНм;

$$M_{\delta\delta} = M_{np} + M_{mp1} + M_{mp2} \quad (81)$$

$$M_{\delta\delta} = 0,13$$

Потужність двигуна, Вт;

$$N_{\delta\delta} = M_{\delta\delta} 10^6 \omega \quad (82)$$

ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (83)$$

$v=3,1$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\text{об}} = 1,618 \cdot 10^6$$

Аналогічно розраховуємо параметри у наступних клітках.

2.4 Запропонований розрахунок режимів обтиснень

Розрахунок режимів обтиснень проводимо на прикладі сталі 08ГСЮТ з 3,0 мм до 0,9мм (сумарне обтискання 70%) прагнучи забезпечити максимальну продуктивність стану, мінімальні витрати по переділу, отримання листа високої якості на основі вищевикладених фактів.

Кліть №1

Початкові умови:

$h_0=0,003$ – початкова товщина, м;

$h_1=2,4 \cdot 10^{-3}$ – товщина штаби після прокатування, м;

$R=0,25$ – радіус валків, м;

$b=1$ – ширина штаби, м;

$\sigma_{T0}=300$ – межа текучості до прокатування, МПа;

$\mu=0,08$ – коефіцієнт зовнішнього тертя;

$\sigma_0=10$ – налягнення перед першою кліткою, МПа;

Розрахунок:

Абсолютне обтискання, м:

$$\Delta h := h_0 - h_1 \quad (48)$$

$$\Delta h = 6 \cdot 10^{-4}$$

Відносне обтискання %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% ; \quad (49)$$

$$\varepsilon = 20$$

Довжина дуги захоплення без урахування пружної деформації валків і штаби, м:

$$l := \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (50)$$

$$l = 0,012$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя :

$$n^1_{\sigma} = \frac{2(1-\varepsilon) h_n}{\varepsilon(\delta-1) h_1} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad (51)$$

$$n^1_{\sigma} = 1,187$$

h_n – висота нейтрального перетину, м;

δ – коефіцієнт;

$$\frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1) \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}}; \quad (52)$$

$$\frac{h_n}{h_1} = 1,086$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}; \quad (53)$$

$$\delta = 3,266$$

Контактний тиск без урахування натягнення і пружної деформації валків, МПа:

$$p = n^1_{\sigma} 2\tau_s \quad (54)$$

$$p = 597,32$$

τ_s – контактна напруга, МПа;

$$\tau_s = 1.15 \frac{\sigma_{T0} + \sigma_{T1}}{2} \quad (55)$$

$$\tau_s = 251,657$$

σ_{T1} – межа текучості посту прокатування, МПа;

$$\sigma_{T1} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon)^{0,435} \quad (56)$$

$$\sigma_{T1}=575,328$$

Контактна площа, м²:

$$F=bl \quad (57)$$

$$F= 0,012$$

Зусилля прокатування (без урахування натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P=pF \quad (58)$$

$$P= 7,316$$

Довжина дуги захоплення (з урахуванням пружної деформації валків), м:

$$l_c = \sqrt{R\Delta h + x_2^2} + x_2 \quad (59)$$

$$l_c=0,014$$

$$x_2 = \frac{pR}{9500} \quad x_2=$$

Коефіцієнт δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{2\mu l_c}{\Delta h} \quad (60)$$

$$\delta_1= 1,572 \cdot 10^{-3}$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_n = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_1-1} h_1^{\delta_1+1}} \quad (61)$$

$$h_n= 2,7 \cdot 10^{-3}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_1 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_1 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta_1-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_1 + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta_1+2} - 1 \right] \right\} \quad (62)$$

$$p_1= 532,147$$

ξ_0 – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_1 – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{K_0} \quad (63)$$

$$\xi_0 = 0,971$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{K_1} \quad (64)$$

$$\xi_1 = 0,739$$

σ_1 – натягнення після першої кліті, МПа;

$$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{T1} \quad (65)$$

$$\sigma_1 = 172,598$$

K_0 – вимушена межа текучості до прокатування, МПа;

K_1 – вимушена межа текучості після прокатування, МПа;

$$K_0 = 1,15 \sigma_{T0} \quad (66)$$

$$K_0 = 349$$

$$K_1 = 1,15 \sigma_{T1} \quad (67)$$

$$K_1 = 661,627$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h + x_{22}^2} + x_{22} \quad (68)$$

$$l_{c2} = 0,014$$

$$x_{22} = \frac{pR}{9500} \quad (69)$$

$$x_{22} = 1,4 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h} \quad (70)$$

$$\delta_2 = 3,66$$

Висота нейтрального перетину, м;

$$h_{n2} = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_2-1} h_1^{\delta_2+1}} \quad (71)$$

$$h_{n2} = 2,7 \cdot 10^{-3}$$

Контактний тиск (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МПа:

$$p_2 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_2 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_{n2}} \right)^{\delta_2-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_2 + 2} \left[\left(\frac{h_{n2}}{h_1} \right)^{\delta_2+2} - 1 \right] \right\} \quad (72)$$

$$p_2 = 530,5$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = l_{c2} b \quad (73)$$

$$F = 0,014$$

Зусилля прокатування (з урахуванням натягнення штаби і пружної деформації валків), МН:

$$P = p_2 F_2 \quad (74)$$

$$P = 7,283$$

Момент прокатування, МНм;

$$M_{np} = 2P_2 \psi l_{c2} + R(\sigma_0 - \sigma_1) h_1 b \quad (75)$$

$\psi = 0,49$ – коефіцієнт плеча прокатування [25];

$$M_{np} = 0,108$$

Нейтральний кут, рад;

$$\gamma_1 = \frac{1}{2R} \left[l_{c2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) h_1}{2\mu p_2} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right] \quad (76)$$

$$\gamma_1 = 0,029$$

Випередження металу;

$$s_1 = \frac{R}{h_1} (\gamma_1)^2 \quad (77)$$

$$s_1 = 0,089$$

Момент тертя в підшипнику, МНм;

$$M_{mp1} = P_2 d \mu_1 \quad (78)$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

$\mu_1 = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$$M_{mp1} = 6,118 \cdot 10^{-3}$$

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм;

$$M_{mp2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np} + M_{mp1}) \quad (79)$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (80)$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпінделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії зубчатої передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

$$M_{mp2} = 0,0114$$

Момент на двигуні, МНм;

$$M_{\text{дв}} = M_{np} + M_{mp1} + M_{mp2} \quad (81)$$

$$M_{\text{дв}} = 0,103$$

Потужність двигуна, Вт;

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} 10^6 \omega \quad (82)$$

ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (83)$$

$v = 3,381$ – швидкість обертання валка, м/с;

$$N_{\text{дв}} = 1,393 \cdot 10^6$$

Результати розрахунків режимів обтиснень за новою і старою технологією зводимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Режими обтиснень

№	Величина	№ кліті	Режими обтисень заводу «Запоріжсталь»	Режими обтисень за новою технологією
1	2	3	4	5
1	ε , %	1	36,7	20
		2	27,9	30
		3	25,5	30
		4	11,7	23,5
2	$\sum \varepsilon$, %	1	36,67	20
		2	55,15	44
		3	65,69	60,8
		4	70	70
3	h , мм	1	1,9	2,4
		2	1,37	1,17
		3	1,03	1,03
		4	0,9	0,9
4	Δh , мм	1	1,10	0,6
		2	0,53	0,72
		3	0,35	0,5
		4	0,12	0,276
5	σ_{T1} , Мпа	1	651,213	575,33
		2	728,03	687,98
		3	761,863	746,58
		4	775,252	775,252
6	P , МН	1	12,258	11,075
		2	12,256	11,1
		3	11,308	12,534
		4	11,883	12,438
7	M_{np} , M_{HM}	1	0,109	0,108
		2	0,166	0,15
		3	0,123	0,159
		4	0,101	0,136
8	$M_{об}$, M_{HM}	1	0,13	0,103
		2	0,194	0,176
		3	0,146	0,186
		4	0,123	0,162
9	V , м/з	1	3,1	3,38
		2	4,2	4,83
		3	5,6	6,9
		4	6,5	9
10	$N_{об}$, Вт	1	$1,618 \cdot 10^6$	$1,393 \cdot 10^6$
		2	$3,254 \cdot 10^6$	$3,395 \cdot 10^6$
		3	$3,274 \cdot 10^6$	$5,145 \cdot 10^6$
		4	$3,189 \cdot 10^6$	$5,819 \cdot 10^6$

2.5 Аналіз перерахунку обтиснень

Перерахунок обтиснень проводився з метою, мінімізувати витрати по переділу, отримання листа високої якості на основі вищевикладених фактів. У зв'язку з цим провели зміну розподілу приватних обтиснень по клітках (дод. А).

В результаті зміни розподілу режимів обтиснень відбулася зміна параметрів технологічного процесу прокатування: розподіл пластичності стали – σ_T (дод. Б) і як наслідок розподіл зусилля прокатування (дод. В) в порівнянні з базовою технологією.

За новою технологією двигун першої кліті працює із значним недовантаженням в наслідок зниження обтискання в першій кліті при малому значенні натягненні перед першою кліттю (створюваного проводкою пресу). Для підвищення продуктивності стану необхідно збільшити швидкість прокатки .

2.6 Аналіз продуктивності стану

У зв'язку із збільшенням швидкості прокатки необхідно провести розрахунок нової умовної продуктивності стану.

Хронометражем визначено час циклу прокатування 15т рулону з 3мм до 0,9мм за старою технологією:

$$t_{\text{пр}}^c = 470 \text{ с.}$$

Час прокатки рулону за вирахуванням технологічних пауз, заправки штаби в стан, виходу штаби із стану, прокатування зварного шва, часу розгону стану.

$$t_{\text{пр1}}^c = 329 \text{ с.}$$

При збільшенні швидкості прокатки до 7,5 м/с час прокатки:

$$t_{\text{пр}}^{\text{H}} = 295 \text{ с.}$$

Час циклу прокатки рулону за новою технологією:

$$t_{\text{пр}}^{\text{H}} = (t_{\text{пр}}^{\text{c}} - t_{\text{пр1}}^{\text{c}}) + t_{\text{пр}}^{\text{H}} \quad (84)$$

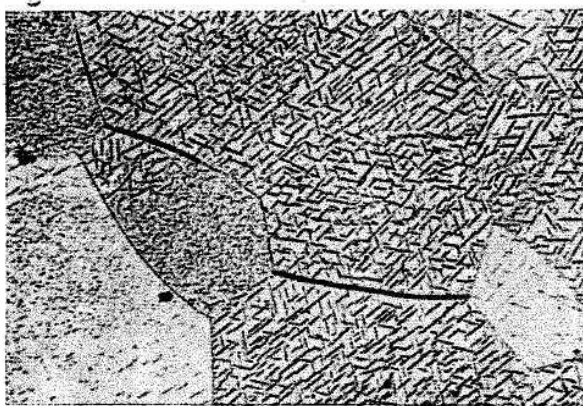
$$t_{\text{пр}}^{\text{H}} = 436 \text{ с.}$$

Продуктивність за новою технологією:

$$Pr_{\text{H}} = 185 \text{ – продуктивність стану за новою технологією, т/год;}$$

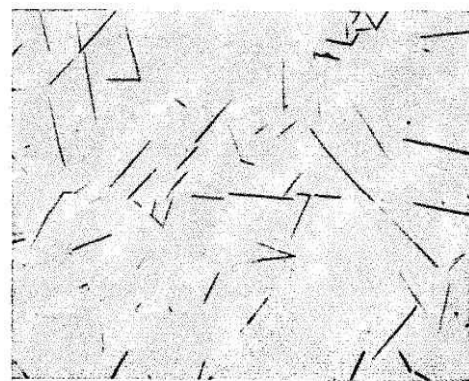
3 Структура досліджувальних металів

При низьких температурах старіння (до 200°C виділяється метастабільний об'ємноцентрований тетрагон нітриду α'' Fe₈N (рис.4.4); при температурах від 200 до 300°C відбувається виділення γ' - нітриду разом з α'' - нітридом, а вище за 300°C виділяється тільки - γ' - нітрид (рис.4.5). Розчинність азоту у фериті при метастабільній рівновазі з α'' - нітриду більше, ніж при стабільній рівновазі з γ' - нітридом.



x 500

Рис. 4.4 До 200°C виділяється метастабільний об'ємноцентрований тетрагон нітриду α'' Fe₈N



x 500

Рис. 4.5 Вище за 300°C виділяється тільки - γ' - нітрид

Щоб проілюструвати виділення обох фаз, було використане безуглеродисте залізо, в якому був розчинений азот. Зразки готували таким чином. Холоднокатаний лист чистого заліза завтовшки 0,1 мм відпалювали при 950°C і потім знеуглецьовували і деазотировали у водні при 800°C.

Після такої обробки зразки містили тільки 0,001% C і N₂. Потім їх азотували при 580°C в суміші аміаку і водню до змісту азоту приблизно 0,1%, гартували у воді і відразу після цього піддавали старінню при 175, 200 і 300° С.

Розвиток виділення нитриду показаний на мікрофотографіях. Після відпалу при 175°C α'' - нитрид з'являється у вигляді коротких стрижнів (рис.4.4). Після відпалу при 300°C - нитрид має вид довгих голок (рис.4.5). Обидва види нитридних частинок мають переважне орієнтування, причому в різних зернах фериту орієнтації різні. На мікрофотографії (рис.4.6) показані виділення α'' - нитриду в тонкій фользі (завтовшки близько $0,0001$ мм), яка була приготована електролітичним поліруванням. Матриця на цій мікрофотографії складається з трьох зерен фериту, які розділяються прямолінійними межами зерен. У найбільшому зерні поверхня фольги паралельна площині (100) фериту. Деякі пластинчасті частинки α'' - нитриду розташовані майже паралельно площині фольги, а інші перпендикулярні їй так, що вони видно, як довгі тонкі смужки.



х 20000

Рис. 4.6 виділення α'' - нитриду в тонкій фользі (завтовшки близько $0,0001$ мм)

Орієнтаційне співвідношення між пластинками α'' - нитриду і феритом може бути описано таким чином:

$$[100]_{\alpha} \parallel [100]_{\alpha''}$$

$$[1001]_{\alpha} \parallel [001]_{\alpha''}$$

Габітусная плоскость— $\{100\}_{\alpha}$.

γ' - нитрид утворюється також у вигляді пластинок, які часто перетинають один одного під гострими кутами, як це показано на мікрофотографії (рис.4.7,а): тут пластинки γ' - нитриду перпендикулярні до поверхні фольги. На електронній мікрофотографії вони здаються темними. Тонка структура фериту пов'язана з дефектами ґрат. На мікрофотографії (рис.4.7,б) показана пластинка γ' - нитриду в екстракційній репліці. Темні смужки є, ймовірно, сходинками в пластинках нитриду, про що свідчить також форма верхнього краю пластинки. Крім того, видно тонші смужки. Наявність цих смужок дозволяє припустити, що виділення складаються з дрібних пластинок. Пластинки γ' - нитриду виділяються майже паралельно до $\{012\}_\alpha$, причому габитусною площиною в γ' - нитриді є $\{112\}^\wedge$.



x 20000



x 40000

Рис. 4.7 Утворення γ' - нитриду у вигляді пластинок

Орієнтаційне співвідношення між γ' - нитридом і феритом близько до наступного:

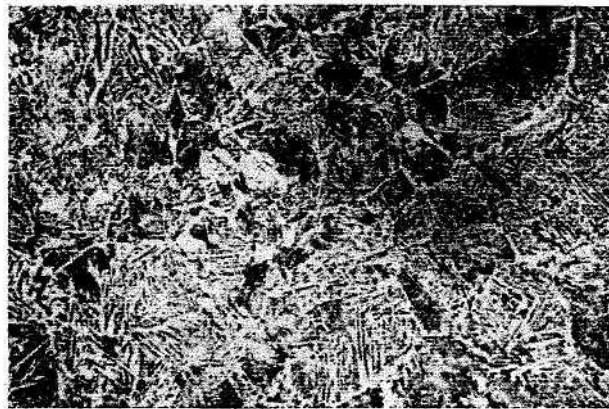
$$[100] \gamma \parallel [100] \alpha;$$

$$[010] \gamma \parallel [010] \alpha;$$

$$[001] \gamma \parallel [001] \alpha;$$

Відманштетова структура фериту

У низковуглецевих сталях за певних умов утворюється структура, в якій доевтектоїдний ферит виділяється у вигляді пластинок. На мікрофотографіях ці пластинки при перетині площиною шліфа здаються голками. Між ними знаходиться перлит (рис. 4.8). Таке розташування фериту було названо Беляєвим відманштетовій структурою на честь А. Відманштетта, що виявив її в метеоритах .



x 100

Рис.4.8 Структура, в якій доевтектоїдний ферит виділяється у вигляді пластинок.

До того як з'являються такі виділення, звичайно утворюється невелика кількість полігонального фериту. Зерна фериту виділяються по межах зерен аустеніту; пластинчастий ферит часто починає рости від окремих

зерен фериту або виникає усередині аустенітного зерна. Аустеніт, який збагачений вуглецем, перетворюється цілком або частково на перлит. Область, в якій утворюється пластинчастий ферит, на термокінетичній діаграмі (рис.4.9) заштрихована.

Мікрофотографії полірованого шліфа, зняті під час охолодження у високотемпературному мікроскопі, показали, що поява голок фериту пов'язана з виникненням поверхневого рельєфу, який дозволяє спостерігати зростання голок.

Це спостереження приводить до висновку, що утворення голчатого фериту у видманштеттовій структурі відбуваються по сдвиговому механізму і що голки зростають так само, як при бейнітному перетворенні.

Голки фериту у видманштеттовій структурі зустрічаються у вигляді паралельних груп, які, очевидно, з'являються на певних переважних площинах усередині зерен аустеніту. Отже, повинен існувати орієнтаційний зв'язок між феритом і початковим аустенітом. Встановлено, що ферит виділяється на площинах $\{111\}$ або $\{100\}$ аустеніту. Між суміжними голками з двох груп знаходяться межі зерен (рис.4.10). Голчата обумовлена тим, що між пластинками, що ростуть, зберігається аустеніт, збагачений вуглецем, який перетворюється переважно на перлит. У центральній частині мікрофотографії (рис.4.10) справа можна бачити, що існує межа між перлітним і голчатим феритом. Це обумовлено тим, що орієнтаційне співвідношення між перлітним феритом і аустенітом інше.

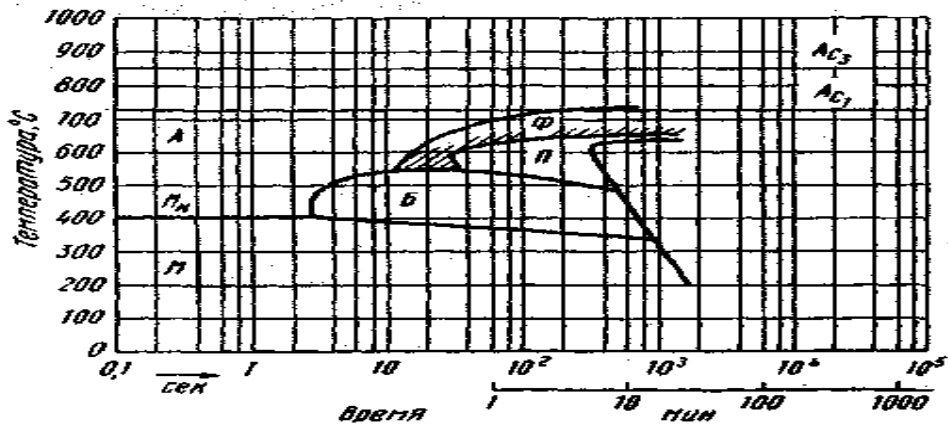
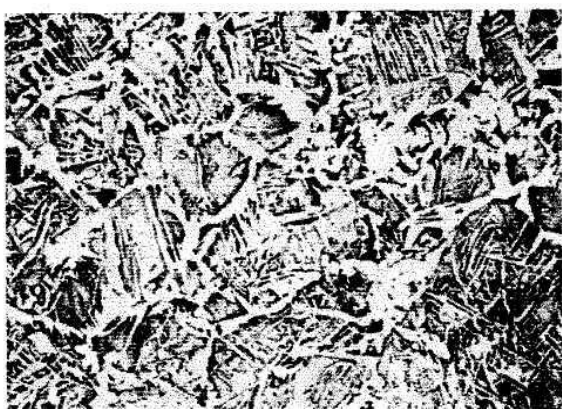


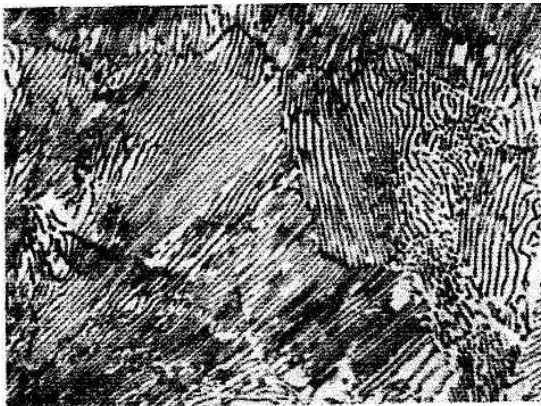
Рис. 4.9 Термокинетична діаграма сталі після аустенізації при 1050°C протягом 20 хвил.



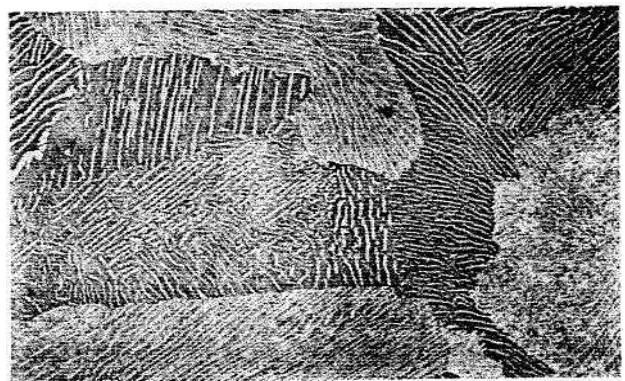
x 100



x 1500



x 1500

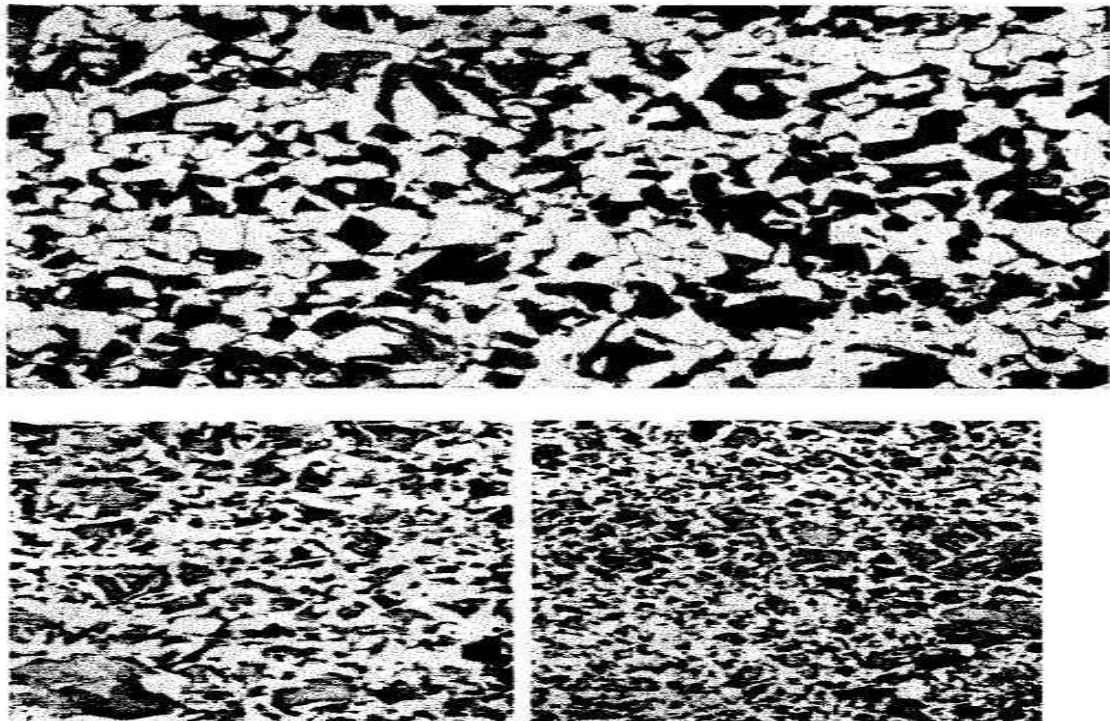


x 1800

Рис. 4.10 Відманштеттова ферритная структура при використанні високої швидкості охолодження.

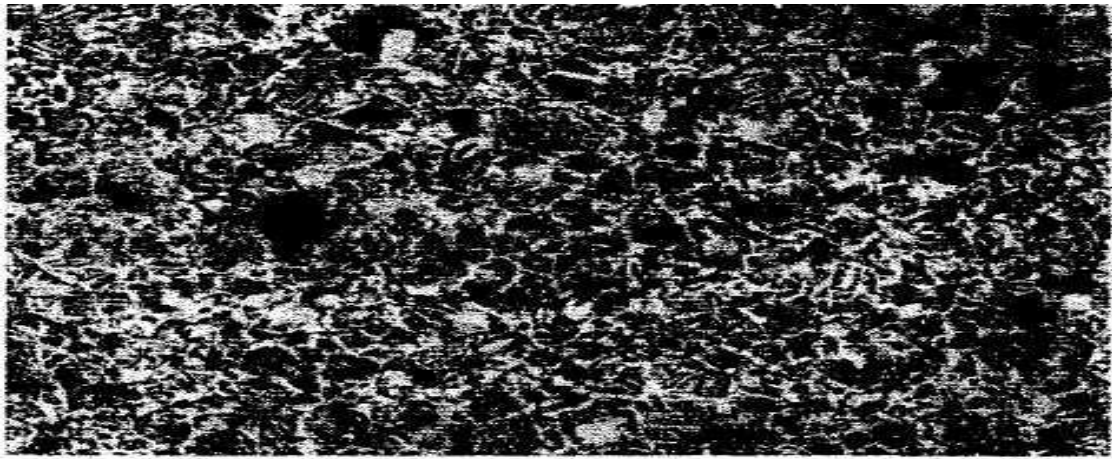
Відманштеттова ферритная структура виражена особливо чітко, якщо є крупні аустенітні зерна і використовуються високі швидкості охолодження (рис.4.8, рис.4.10,а). При дрібних зернах аустеніту і малих швидкостях охолодження в структурі полігональних зерен фериту і перліту утворюються тільки ізольовані голки фериту (рис.4.11). З підвищенням швидкості охолодження кількість голчатого фериту збільшується (рис.4.12). Якщо перетворення не завершено в перлітній області, то воно продовжується в бейнітній. Залишковий аустеніт перетворюється на мартенсіт (рис.4.13).

У доевтектоїдних сталях перліт, що виникає при високих швидкостях охолодження, містить вуглецю менше, ніж це відповідає евтектоїдному складу, отже, цементит в ньому більш розосереджений. Іноді на межах зерен фериту перліт тріється сильніше; можливе це пов'язано з тим, що цементит в результаті збагачення аустеніту вуглецем поблизу міжфазної межі мається в своєму розпорядженні щільніше.



x 100

Рис.4.11 Відманштеттова ферритная структура при малих швидкостях охолодження.



x 100

Рис.4.12 Підвищення швидкості охолодження.



x 500

Рис. 4.13 Перетворення залишкового аустеніту на мартенсит.

Пластинчастий перліт

Перліт є продуктом реакції, при якій утворення однієї фази сприяє зародженню і зростанню іншої. Дві фази в перліті (цементит і ферит) мають вид пластинок, що чергуються, близько розташованих один до одного (рис.4.10,в). При вмісті в сталі вуглецю 0,8% перліт складається з 87% фериту і 13% цементита. Отже, пластини фериту в сім разів ширше, ніж пластини цементита. Якщо перліт утворюється в сталі із змістом

вуглецю $<0,8\%$ при такій швидкості охолодження, коли виникнення доевтектоїдного фериту неможливе, то він повинен містити вуглецю менше, ніж при рівноважному стані. Це повинно викликати відносне збільшення кількості фериту і ширини ферритних пластинок.

Окремі зерна перлиту розрізняються по орієнтації феритної матриці і напряму цементитних пластин. Це краще видно на знімку репліки (рис.4.10,г), чим на оптичній мікрфотографії (рис.4.10,в), оскільки різниця висот неоднаково протравленої ферритної матриці додає перлітним зернам різну контрастність.

4 Охорона праці та техногенна безпека

4.1 Аналіз потенційних шкідливих та небезпечних чинників виробничого середовища прокатного цеху

ЦХП - 1 відноситься до ІІб категорії за ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.005-88, тому що витрат енергії становлять приблизно 178 ккал/рік.

Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, пульти керування, шумозахисні кабіни), а також виключати можливість:

- ведення процесу при несправності кінцевих вимикачів, пристроїв заземлення, огорожень;
- вимикання стана при перебуванні працюючих у небезпечній зоні біля стану [23].

Для запобігання травмування повинні бути виключені всі роботи з ручною подачею або іншими операціями на стані. Є випадки травмування частинами валків, які відлітають, і іншими частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їх руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

Травмонебезпечні операції по стропуванню і перевезенню валків на візку; остання повинна завантажуватися не вище ботів. При стропуванні і знятті валків працюючі повинні стояти збоку візка.

На ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680, внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 дБА при нормі 80 дБА ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.003-83.

Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка чинників виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ <u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас небезпеки</u>						90
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
Масла мінеральні	5	6,78	1,36				
2	Пил переважно фіброгенної дії мг/м ³	4,0	4,8	1,2			95
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.						
4	Шум, дБА	85	92			7	90
5	Інфразвук дБ						
6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м; - діапазон промислової частоти, кв/м; - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря ⁰ С;	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,2-0,4	0,4				
	- відносна вологість повітря, %;	40-60	45				
	-інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²						

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників прокатного виробництва

Технічні рішення по виробничій санітарії

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов забезпечення прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання й відводу стічних і поверхневих вод. Рівень стічних і поверхневих вод на площадці повинен бути нижче рівня підлоги підземних споруджень цеху. Завод розташовують із підвітряної сторони до вітрів переважного напрямку.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості шкідливих речовин, що виділяються у навколишнє середовище, шуму, вібрації й інших шкідливих факторів. Передбачають заходи, які зменшують несприятливий вплив на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі, робочого зони приміщень [23].

Для металургійного заводу ширина санітарно-захисної зони визначається обсягом випуску сталі. Якщо останній становить більше 1 млн. тонн/рік, ширину зони приймають 1000 м. У такий спосіб ширина захисної зони навколо комбінату «Запоріжсталь» становить 1000 м. Відповідно до санітарної класифікації його відносять до першого типу виробництв. Обсяг виробничих приміщень на одного робітника повинен становити не менш 15 м³, площа приміщень – не менш 4,5 м², фактичний обсяг – 16,3 м³, а площа – 4,6 м² на одного працюючого.

В таблиці 4.2. наведено перелік технічних і санітарно-гігієнічних заходів захисту виробничого середовища і робочих місць.

Таблиця 4.2 – Перелік технічних і санітарно-гігієнічних заходів захисту виробничого середовища і робочих місць

№ п	Небезпечні фактори	Захисний пристрій	Принцип дії й призначення	Місце установки
1	Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабінки і перегородки, засоби ЗІЗ	Звукопоглинання й відбиття, ізоляція органа слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
2	Паро виділення тактичної дії	Витяжна вентиляція	Примусове механічне видалення пар, що утворилися, масел	Над станом
3	Небезпечний рівень струму і напруги	Ізоляція і огороження струмоведучих частин Заземлення, блокування Запобіжники плавкі, дистанційні, магнітні, штучні	Захист від дотику до струмоведучих частин Захист від дотику до металевих частин устаткування Захист від високих рівнів струму, керування двигунами на відстані	Навколо струмоведучих частин Біля корпусів електродвигуна На панелях пульта керування
4	Частини, що рухаються	Запобіжні пристрої, сітки, кожуха	Відключення й розрив ланцюга при перевантаженнях, захисту від зіткнення з частинами, що рухаються	В електричних схемах приводів, навколо встаткування
5	Метал, що переміщується	Огороження й розмітка небезпечної зони Засоби звуковий і світловий сигналізації Знаки безпеки	Захист від травм при падінні металу під час його переміщення	На території небезпечної зони На мостовому крані На огороженні небезпечної зони
6	Горючі речовини	Герметизація й витяжна вентиляція	Захисту від опіків при пожежі	Над місцем утворення пару і витоків

Освітлення

У будинку прокатного цеху передбачене природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через світлові прорізи в бічних стінах.

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного освітлення застосовують як правило, газорозрядні лампи (ртутні високого тиску з виправленою кольоровістю, люмінесцентні). Типи світильників обирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення. У прокатному цеху для загального освітлення застосовують лампи накаливання, світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становлять 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на один розряд. У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У таблиці 4.3 наведено прийняті значення освітленості.

Таблиця 4.3 – Прийняті значення освітленості

Найменування ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк і коефіцієнт запасу			Аварійне освітлення	
		Система комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Для роботи	Для евакуації
Ковпакові печі	IV	400	200	1,3	10	4
Прокатний стан	III	750	300	1,5	15	5

У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом, пунктами керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребує обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого освітлення, але не менш 2 лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу проходів і сходів не менше 0,5 лк.

У зв'язку з тим, що над прокатним відділенням джерела природного освітлення часто запилюються й піддаються рідкому очищенню, у наслідок чого на робочу площадку надходить мала кількість світла, пропонується додаткове штучне освітлення, що у вечірні час і в темний час доби використовується як основне освітлення.

Санітарно-побутові приміщення

Згідно СНіП 11-92-76 по санітарно-гігієнічній характеристиці виробничий процес належить до групи 2Б. Для даної групи побутові приміщення містять у себе гардеробні для збереження одягу, тому працююча відведена подвійна шафа.

Є душові приміщення, кожна душова кабінка розрахована на трьох чоловік. Так, наприклад, якщо у відділенні працюють 250 робітників, то, розділивши на 3, одержимо 84 душові кабінки в душовому приміщенні, що відповідає дійсній кількості.

Роздача питної води здійснюється за допомогою фонтанів і сатураторів для одержання питної підсоленої газованої води. Органи санітарного нагляду міністерства охорони здоров'я здійснює систематичний контроль за якістю води.

Туалет числом 9 (з розрахунку 1 на 30 чоловік) розташовані біля робочих місць на відстані не перевищуючому 75 м.

Прийом пици робітники здійснюється у виробничих їдальнях, з урахуванням, що одне місце розраховано на обслуговування чотирьох чоловіків у зміну.

Прасують робочий одяг у пральні ПАТ «Запоріжсталь». Організовано цілодобову роботу фельдшерського здравпункта.

Виробничий шум

Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність. Для оцінки гучності звуків служить міжнародна шкала гучності, градуйована в децибелах, у якому за нульову точку прийнятий поріг чутності, а за вищу - гучність зухвала в органах слуху відчуття болю. Для зменшення шуму на ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680 проводяться реконструктивні зміни деталей, механізму подачі й т.д. Це дозволяє зменшити шум на 10...12 дБА. Якщо ж у випадку проведених заходів фактичний рівень шуму перевищує нормативний, тоді необхідно користуватися засобами індивідуального захисту: беруші, навушники [24].

Таблиця 4.4 – Розрахунок норми необхідної кількості засобів індивідуального захисту працюючих на ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680

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

Засоби індивідуального захисту

Захист тіла людини від впливу шкідливих факторів забезпечується застосуванням спецодягу, взуття, головного убору і рукавиць. Забороняється працювати в брудному і рваному спецодязі [25].

Електробезпека

Особи, яким безпосередньо доручене обслуговування діючих електроустановок, повинні бути здорові й не мати хвороб, а також каліцтв, що перешкоджають виконанню виробничих операцій. Зазначений персонал зобов'язаний пройти медичний огляд:

- при прийманні на роботу;
- повторний огляд не рідше одного разу на два роки.

Особи, призначені для обслуговування електроустановок, зобов'язані пройти виробниче навчання і стажування на робочому місці не менш 12 діб, мати кваліфікаційну групу і права роботи в електричних установках.

Виконувати роботи в електричних установках повинен тільки електрик.

Аналіз нещасних випадків у промисловості свідчить про те, що кількість травм, викликаних дією електрики, порівняно невелике і становить 0,5 - 1% від загальної кількості нещасних випадків. Однак слід зазначити, що із загальної кількості нещасних випадків зі смертельним результатом на виробництві 20 - 40% трапляється внаслідок поразки електричним струмом, що більше, ніж внаслідок дії інших причин, причому близько 80% смертельних поразок електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В.

Живлення електропривода безперервного стана холодної прокатки 1680 здійснюється в такий спосіб: на високовольтні понижувальні трансформатори приходить напруга 10000 В, трансформатор у свою чергу трансформує цю електроенергію у величину змінної трифазної напруги 380 В, що підводить до тиристорних перетворювачів, а вже з них підводить до електродвигуна привода стана й допоміжному устаткуванню.

Для захисту технологічного персоналу від поразки електричним струмом пропоную, заземлення діючого електроустаткування, у тому числі і пости керування, і їхньої kabіни.

Для обслуговуючого персоналу з метою захисту, пропоную використати засоби колективного та індивідуального захисту:

- індикатори напруги;
- дерев'яні тумби, підставки;
- огороження;
- діелектричні рукавички.

У виробничому процесі на ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680 для безпеки обслуговуючого персоналу необхідно почати наступні заходи:

- виключити влучення людини в небезпечні зони за рахунок пристрою огорожень, кожухів, захисних блокувань окремих вузлів устаткування. Зменшити небезпека поразки працюючим електричним струмом досягти суворого виконання «Правил пристрою електричних установок» (ПУЕ-76), «Правила технічної експлуатації електроустановок-споживачів» (ПТЕ) і «Правила техніки безпеки» (ПТБ);
- для місцевого штучного освітлення використати знижену напругу змінного струму до 36 В;
- недоступним розташуванням відкритих струмопровідних частин;
- ізоляцією струмопровідних частин, розташованих у робочій зоні, тобто на висоті до двох метрів від рівня підлоги;
- опір ізоляції струмопровідних частин контролюють працівники енергослужби не рідше 2-х раз на рік [24].

Важливе значення в охороні праці і життєдіяльності людини є попередження захворювань від пилу. На ділянці повинен проводитися систематичний контроль над станом запиленості повітря.

Зменшити небезпека при роботах з підйомно-транспортними механізмами передбаченого за рахунок строгого виконання вимог «Правил пристрою і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів» основні з них наступні:

- проведення регламентованих технічних оглядів устаткування;
- оснащення підйомно-транспортних механізмів приладами безпеки.

Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Відповідно до СНіП 11-2-80 виробництво холоднокатаного листа ставиться до категорії Д, як виробництво пов'язане з обробкою неспалених речовин і матеріалів у холодному або тепловому стані [31].

По класифікації пожежних зон прокатний цех і лінія по виробництву холоднокатаного листа відносяться до зони класу П-Па, тобто приміщення, у яких міститься тверді речовини, не здатні переходити у зважений стан. Будинок ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» ставиться до IV ступеня вогнестійкості.

Джерелами виникнення пожежі можуть бути:

- газозовдушні вибухонебезпечні суміші (кисень, природний газ);
- масло при влученні на нього відкритого вогню;
- електроустаткування - при короткому замиканні, статична електрика;
- грозові розряди;
- самозаймання промаслених відходів.

До числа мер по попередженню пожеж і обмеженню поширення вогню відносять:

- прийняті відповідно до норм величини площі між протипожежними перешкодами;
- правильний вибір ступеня вогнестійкості будинків і межі вогнестійкості окремих його елементів;
- дотримання протипожежних розривів між будинками.

Для успішної евакуації людей передбачені шляхи евакуації і евакуаційні виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідне число сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Швидка локалізація і гасіння пожежі досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежного впливу, під'їздів і дорого до будинків. По

вогнестійкості прокатний цех відносять до I і II ступенів. Необхідний ступінь вогнестійкості будинків прокатного цеху зазначений у таблиці 4.5.

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для одержання, зберігання й подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні й штучні водойми).

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій цеху, година

Ступінь вогнестійкості	Несучі стіни, сходові клітки, колони	Сходові площадки, сходи, балки	Зовнішні стіни з навісних панелей	Внутрішні несучі стіни	Плити й інші несучі конструкції і перекриття	Плити, настили і інші несучі конструкції
I	2,5(НД)	1(НД)	0,5(НД)	0,5(НД)	1(НД)	0,5(НД)

Примітка: НД - не допускається.

Для гасіння пожеж використовується також вода технічна, пожежні гідранти, пісок, повстіна.

Захист навколишнього середовища

На ділянці безперервного стана холодної прокатки 1680 одним зі шкідливих факторів є випар емульсії, що відбувається в результаті роботи стана.

Для забезпечення вловлювання пар емульсії на безперервному стані 1680, пропоную: установити над кожною із чотирьох клітей, витяжки з фільтрами. Фільтри періодично міняти, по мірі їх забруднення, для кращої роботи витяжки [25].

5 Економічні аспекти проблеми

Виробництво та реалізація продукції потребують трудових, матеріальних і грошових витрат. Витрати підприємства на спожиті засоби виробництва, предмети праці й оплату праці працівників, виражені в грошовій формі, утворюють собівартість продукції.

Собівартість продукції - це основний якісний показник роботи підприємства. Її рівень відбиває досягнення та недоліки роботи як підприємства в цілому, так і кожного структурного підрозділу. Систематичне зниження собівартості продукції має важливе народногосподарське значення, бо дає змогу за стабільних ринкових цін збільшувати прибуток на кожну гривню витрат, підвищує конкурентоспроможність продукції [19].

Аналіз собівартості продукції має такі завдання: перевірка обґрунтованості прийнятих управлінських рішень щодо собівартості; об'єктивна оцінка виконання прийнятих рішень, під час якої виявляються відхилення фактичних витрат від прогнозних; з'ясування чинників цих відхилень; підрахунок резервів дальшого зниження собівартості продукції; розроблення заходів із мобілізації внутрішньовиробничих резервів та використання їх у виробництві.

Для проведення аналізу використовуються такі джерела інформації. прогнозована собівартість продукції; аналітичні розрахунки, норми й нормативи споживання ресурсів; звітна інформація, зокрема «Звіт про фінансові результати» ф. 2, «Звіт з праці» ф. 1-ПВ і ф. 3-ПВ, дані оперативного обліку.

Облік, прогнозування та аналіз собівартості спирається на такі узагальнюючі показники.

- 1) собівартість одиниці продукції;
- 2) виконання прогнозу зниження собівартості порівнянної продукції;
- 3) виграти на 1 грн товарної продукції.

Для досягнення конкурентоспроможності підприємство змушене постійно прогнозувати зниження собівартості своєї продукції.

Для визначення обґрунтованості прогнозового рівня собівартості виробленої продукції, використовують дані про залишки нереалізованої продукції на початок і кінець року, обсяг реалізації та складають розрахунок (таблиця 5.1).

Фактичні витрати на 1 грн виробленої продукції порівнюють із прогнозними, визначають та оцінюють наявні відхилення.

З таблиці 5.1 бачимо, що за прогнозового обсягу реалізації в оптових цінах підприємства 12484,5 тис. грн та прогнозового прибутку від реалізації 2437,5 тис. грн, собівартість реалізованої продукції становить 10047 тис. грн, а прогнозова собівартість товарної продукції з урахуванням зміни прогнозних залишків нереалізованої продукції на початок і кінець року - 10174,5 тис. грн.

Таблиця 5.1 - Розрахунок рівня собівартості продукції, тис. грн.

№	Показник	За оптовими цінами підприємства	За прогнозовою собівартістю	Прибуток	Витрати на 1 грн продукції
1	Залишки нереалізованої продукції на початок року	615	480	135	78,05
2	Реалізація продукції	12484,5	10047	2437,5	80,48
3	Залишки нереалізованої продукції на кінець року	730,5	607,5	123	83,16
4	Випуск товарної продукції (ряд. 2 + ряд. 3-ряд. 1)	12600	10174,5	2425,5	80,75

Зазвичай внаслідок систематичного зниження собівартості витрати на одну гривню продукції в залишках нереалізованої продукції на кінець року мають бути нижчі від середньорічних, а в собівартості товарного випуску - нижчі, ніж у собівартості реалізованої продукції, бо в останню закладено підвищені витрати в залишках нереалізованої продукції на початок року.

На підприємстві, яке ми аналізуємо, цієї вимоги не додержало, собівартість товарної та нереалізованої продукції постійно зростає, а тому зменшується прибуток на одну гривню продукції. Високий рівень витрат у залишках нереалізованої продукції був спричинений зростанням цін на матеріали і зниженням попиту на дорогу продукцію. Ця обставина може призвести до погіршення фінансового стану підприємства.

Маючи розрахунковий рівень собівартості товарної продукції, обчислюють прогнозове завдання щодо її зниження проти минулого звітного періоду і розробляють прогноз організаційно-технічних заходів, який забезпечить це зниження.

Міра ефективності використання матеріальних, трудових і грошових засобів з найбільшою повнотою розкривається під час вивчення собівартості товарної продукції, бо об'єктом аналізу стають ресурси підприємства, використані для основної діяльності.

Аналіз собівартості товарної продукції починають із загальної оцінки виконання прогнозу собівартості, визначають відхилення звіт-них показників від прогнозних, їх динаміку, виявляють фактори, що вплинули на це відхилення, роблять відповідні висновки.

На підставі облікових даних одержано таку інформацію:

- випуск товарної продукції за прогнозом - 12600 тис. грн, фактичний - 12750 тис. грн;

- собівартість продукції за прогнозом - 10174,5 тис. грн, фактично - 10717,5 тис. грн, собівартість фактично випущеної продукції за прогнозними нормами і фактичною структурою - 10437 тис. грн.

Порівняння фактичної собівартості з прогнозованою показало, що абсолютне відхилення дорівнює 543 тис. грн. Це відхилення виникло під впливом таких факторів:

- 1) зміни обсягу продукції;
- 2) зміни структури виробленої продукції;
- 3) зміни рівня витрат (за рахунок зміни кількості використаних матеріалів, цін на сировину і матеріали).

Для виявлення впливу цих факторів виконаємо такі розрахунки:

- 1) визначаємо рівень виконання прогнозу виробництва товарної продукції:

$$12750:12600 - 100 = 101,19\%;$$

- 2) підраховуємо собівартість фактичного випуску продукції за прогнозовими нормами і структурою:

$$10437 - 101,19:100 = 10561,25 \text{ тис. грн};$$

- 3) визначаємо вплив зміни обсягу товарної продукції на собівартість:

$$10561,25 - 10174,5 = 386,75 \text{ тис. грн};$$

- 4) визначаємо вплив зміни структури на собівартість:

$$10437 - 10561,25 = -124,25 \text{ тис. грн};$$

- 5) визначаємо вплив зміни рівня витрат на собівартість:

$$10717,5 - 10437 = 280,5 \text{ тис. грн.}$$

Загальне відхилення становить: $386,75 - 124,25 + 280,5 = 543$ тис. грн.

Підприємство допустило небажане зростання собівартості на 280,5 тис. грн - за рахунок зміни рівня витрат, проте за рахунок покращення структури на 124,25 тис. грн воно дещо знизило собівартість [19].

Висновки

Слід зазначити, що створення необхідних умов для ведення ідеального процесу холодного прокатування на діючих станах пов'язане з визначеними, часом непереборними, труднощами організаційного і технологічного характеру. Ці труднощі полягають в прийнятих режимах обтиснень, технологічних схемах і навиках персоналу. Мета даного дослідження бачиться не тільки і не тільки у визначенні умов для ведення ідеального процесу холодного прокатування, а також у виявленні енергетично оптимальних умов процесу холодного прокатування з отриманням високої якості прокату.

Встановлено, що при прокатці в першій кліті заднє натягнення практично відсутнє, унаслідок чого штаба при великих обтисканнях погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатки. Для цього першу кліть необхідно використовувати для регулювання товщини штаби за допомогою системи автоматичного натягу штаби і тому вона повинна мати резервну потужність для забезпечення належного діапазону регулювання.

Важливим чинником знижених обтиснень в перших клітях безперервного стану є те, що ефект самовирівнювання різнотовщинності помітно виявляється лише тоді, коли деформаційне зміцнення металу порівняно невелике. Отже, зниження обтиснень в перших клітях сприяє самовирівнюванню подовжньої різнотовщинності.

При виборі величини обтиснень в останній кліті безперервних станів враховують, що дуже велике обтиснення ускладнює надходження мастила в зону деформації, внаслідок чого погіршується якість поверхні. Збільшення обтиснень в останній кліті дозволить мати між останньою і передостанньою клітями підвищену товщину штаби, що зменшить вірогідність обриву штаби при регулюванні товщини натягненням. Завдяки значній деформації в останній кліті температура штаби істотно зростає і при змотуванні штаби в

рулон складає близько 200°C. Це сприятливо позначається на якості профілю прокатої штаби, оскільки відбувається правка штаби розтягуванням при підвищеній температурі.

Обтиснення в останній кліті не може бути малим також тому, що з його величиною пов'язано якість регулювання товщини штаби на виході безперервного стану.

Коливання обтиснень в першій кліті безперервного стану холодної прокатки (до 10–15 %), викликані подовжньою різнововщинністю гарячекатаних штаб і роботою грубого регулятора товщини, роблять істотний вплив на профіль і форму катаних штаб і весь процес прокатки. Таж сама нерівномірність деформації при прокатуванні в зоні коробоватості призводить до меншого в 1,2...1,4 разу відхилення штаби від плоского стану, чим у разі прокатки хвилястої штаби. Дія переднього натягнення на форму коробоватої штаби ефективніше, ніж на хвилясту штабу. У зв'язку з цим, зважаючи на специфіку роботи перших клітей і наявність достатнього запасу пластичних властивостей катаного металу, розрахунок профілізацій і режиму обтиснень необхідно проводити з урахуванням прокатки в них штаб з деякою коробоватістю.

Переднє натягнення найбільш ефективно впливає на профіль і форму штаб в межах до 40 – 50 МПа. Подальше збільшення натягнення з метою поліпшення їх площинної недоцільно.

Встановлено, що із збільшенням температури емульсії температура поверхні валків зростає, і разом з тим рівномірніше відбувається розподіл температури по довжині бочки, знижується різниця між максимальною температурою валків і емульсії при загальному підвищенні їх витрати.

Процес холодної прокатки виявляється найбільш стабільним при температурі валків 55 – 60 °С, яка забезпечується при температурі емульсії 45 – 50 °С і її витраті 420 – 630 м³/год . Прокатка ж на емульсії з температурою вище 55 °С і вище викликає інтенсивне випаровування, яке перешкоджає візуальному спостереженню за профілем прокатуваних штаб.

Використана література

1. Васильев Я.Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета холодной прокатки. Москва: Металлургия, 1995. 265 с.
2. Серета Б.П. Термічна обробка: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2003. 270 с.
3. Налча Г.И., Шебониц Э.Н., Бочаров В.Ф. Прокатное производство, металлы и термическая обработка. Сборник трудов. №26. Донецк, 1971. 186с.
4. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для студентів ЗДІА / укл.: Серета Б.П. – Запоріжжя: ЗДІА, 2006. – 79 с.
5. Термомеханічна обробка металів. Методичні вказівки до практичних занять та виконання курсового проекту для студентів ЗДІА / укл.: Серета Б.П., І.В.Кругляк. – Запоріжжя: ЗДІА, 2005. 146 с.
6. Беняковский А.Л., Мазур К.А., Мелешко А.Н. Производство автомобильного листа. М. «Металлургия», 1984. 360с.
7. Полухин П.И., Федосеев Н.М., Королев А.А., Матвеев Ю.М. Прокатка углеродистой листовой стали. Москва: Металлургия. 1982, 696с.
8. Комановский А.З. Листопрокатное производство. Справочник. Москва: Металлургия. 1989. 455 с.
9. Кліменко В.М. Технологія прокатного виробництва. Київ: Вища школа. 1983. 235 с.
10. Коновалов Ю.В., Колча Г.И., Совранский К.Н. Справочник прокатчика. Москва: Металлургия. 1998. 987с.
11. Целиков А.И. Основы теории прокатки. Москва: Металлургия. 1965. 247с.
12. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Москва: Металлургия. 1985. 376с.
13. Николаев В.А., Зотов О.Н., Задко Б.М., «Изв. вуз. Черная металлургия», 1997, №3, с.88 – 89.

14. Ніколаєв В.О. Обработка металів тиском: методичні вказівки до практичних занять. Запоріжжя: ЗДІА, 2003. 85 с
15. Бухбиндер И.А, Рудасев В.Б., Никулин А.В., и др. «Изв. вуз. Черная металлургия», 1989, №11, с.66 – 68.
16. Нетесов Н.П., Дюльдина Э.В., Емельянова З.В., и др. «Сталь», 1992, №4, с.46 – 49.
17. Целиков А.И. Справочник прокатчика. М., «Металлургия»,1985.
18. Санитарные правила для предприятий черной металлургии.(СН №2527-82). Мариуполь: Минздрав. 1992. 255 с.
19. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН 245-71. Г.: Стройиздат, 1992. 310 с.
20. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. Нормы проектирования. СНиП II-2-80. Киев: Стройиздат. 1981. 227 с.
21. Технологічна інструкція з холодної прокатки на неперервному чотирьохкільтовому стані 1680. Запоріжжя: Запоріжсталь, 2004. 175 с.