

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут

(повне найменування вищого навчального закладу)

Обробка металів тиском

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий магістерський

(другий (магістерський) рівень)

на тему Розробка режимів деформації низько вуглецевих сталей

на станах холодної прокатки

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1369 - мз

Гаврилов Михайло 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)

Запоріжжя - 2020 року

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Металургії

Кафедра Обробки металів тиском

Рівень вищої освіти другий магістерський

(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 Явтушенко О.В.

“ _____ ” _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гаврилов Михайло Юрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема магістерської роботи Розробка режимів деформації низько вуглецевих сталей на станах холодної прокатки

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 25 ” 05 2020 року №597-с

2. Строк подання студентом магістерської роботи 01. 12.2020

3. Вихідні дані магістерської роботи Технології холодної прокатки сталі в умовах ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела, довідкова та наукова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначення технології і режимів обтиснення, фактори, що впливають на режими обтиснення, розрахунок режимів обтиснень, структура досліджуваних металів, охорона праці та навколишнього середовища

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Прокатна кліть кварто, схема розподілу приватних обтиснень по клітях безперервних станів холодної прокатки, залежність міцних характеристик сталей від ступеня деформації, розподіл подовжніх зусиль в штабі при прокатуванні на безперервному стані 1680, розподіл температури по довжині бочок нижнього і верхнього робочих валків четвертої кліті, режими обтиснень.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
1	Кругляк Д.О., доц., к.т.н.	
2	Кругляк Д.О., доц., к.т.н.	
3	Кругляк Д.О., доц., к.т.н.	
4	Манідіна Є.А., доц., к.т.н.	
5	Кругляк Д.О., доц., к.т.н.	

7. Дата видачі завдання 01.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Визначення технології і режимів обтиснення	04.10.20	
2	Фактори, що впливають на режими обтиснення	15.10.20	
3	Математичне планування дослідження	21.10.20	
4	Структура досліджуваних металів	18.11.20	
5	Охорона праці та навколишнього середовища	25.11.20	
6	Економічні аспекти проблеми	30.01.20	

Студент _____ Гаврилов М.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – стан холодної прокатки металургійного заводу.

Мета роботи – дослідження та вдосконалення режимів безперервної прокатки низьковуглецевих сталей ШСХП 1680.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків в прокатному виробництві.

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

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

АНОТАЦИЯ

Объект разработки – стан холодной прокатки металлургического завода.

Цель работы – исследование и совершенствование режимов непрерывной прокатки низкоуглеродистых сталей ШСГП 1680.

Метод расчетов – стандартные методики расчетов в прокатном производстве.

Полученные результаты и их новизна – модернизация технологии обеспечена за счет оптимизации режимов обжатий, заменой электродвигателей, что позволило значительно улучшить качество холоднокатаного листа, минимизировать затраты по переделу, увеличить продуктивность стана.

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

ABSTRACT

The object of development is a cold rolling mill of a metallurgical plant.

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

Calculation method - standard calculation methods in the rolling industry.

The results obtained and their novelty - the modernization of the technology is ensured by optimizing the reduction modes, by replacing the electric motors, which made it possible to significantly improve the quality of the cold-rolled sheet, minimize the cost of redistribution, and increase the productivity of the mill.

The results can be used in hot rolling headquarters to a state of «1680». The use of effective technological modes will reduce electricity needs and increase output state.

РЕФЕРАТ

ПЗ: 104 с., 34 рис., 20 табл., 32 джерела.

Об'єкт дослідження – стан холодної прокатки металургійного заводу.

Мета роботи – дослідження та вдосконалення режимів безперервної прокатки низьковуглецевих сталей ШСХП 1680.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків в прокатному виробництві.

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

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ, СТАН, КЛІТЬ, РЕЖИМ ОБТИСКУ, ШТАБА, ШВИДКІСТЬ, МАСТИЛО, ТЕМПЕРАТУРА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ, НАПРУЖЕННЯ, СИЛА ПРОКАТКИ

ABSTRACT

EN: 104 pages, 34 figures, 20 tables, 32 references.

Subject of the present investigation – is mill cold rolling of metallurgical works.

Objective the degree work – intensification of cold rolling low-alloyed steel on the four-stand mill 1680.

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

Educts and their novelty – technology modernization is carried out optimization of draughting schedule, installation of a new motor that enabled to improve the quality of cold-rolled metal sheet.

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

ЗМІСТ

1	АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ	10
1.1	Визначення технології і режимів обтиску	10
1.2	Чинники, які впливають на режими обтиску	11
2	ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	36
2.1	Математичне планування дослідження	36
2.3	Розрахунок режимів обтисків комбінату „Запоріжсталь”	59
2.4	Проектувальний розрахунок режимів обтиснень.....	65
2.5	Обробка та обговорення результатів	70
2.6	Аналіз перерахунку обтиснень.....	72
2.7	Аналіз продуктивності стану.....	72
3	СТРУКТУРА ДОСЛІДЖУВАЛЬНИХ МЕТАЛІВ	74
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	82
4.1	Заходи щодо техніки безпеки	82
4.2	Заходи щодо виробничої санітарії і гігієни праці	83
4.3	Заходи щодо пожежної безпеки	84
4.4	Заходи щодо забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях	86
5	ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ.....	89
5.1	Розрахунок річної виробничої програми прокатного стану	89
5.2	Розрахунок виробничої програми за проектом	90
5.3	Розрахунок собівартості 1 тонни прокату	93
5.4	Розрахунок витрат по переділу	94
5.5	Розрахунок річної економії	97
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	99
	ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	102

ВСТУП

Прокатне виробництво є завершальною стадією металургійного виробництва. Через прокатні цехи підприємства проходить більше 85% сталі, яка виплавляється в сталеплавильних печах. У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються по потоковому й безперервному принципах, що дозволяє широко застосовувати комплексну механізацію й автоматизацію.

Листова холоднокатана сталь є одним з найбільш економічних видів металопродукції. Тому підвищення її частки в загальному сортаменті прокату характеризує один з перспективних напрямків розвитку чорної металургії. Листовий прокат широко застосовується в машинобудуванні, будівництві, і в інших галузях народного господарства.

Холоднокатаний листовий прокат може бути товарною продукцією металургійного підприємства або використовуватись як вихідна заготівля для виробництва гнутих профілів, жерсті.

Залежно від призначення, продукція листових станів холодної прокатки перед відправленням споживачам піддається ряду оздоблювальних операцій: дресирування, покриття металопродукату плівкою з полівінілхлориду.

Основна тенденція при холодному прокатуванні є підвищення якості продукції, розширення сортаменту прокату, поліпшення механічних властивостей металу, ступеня обробки поверхні листа, підвищення точності геометричних розмірів.

За останні роки яскраво виявилася тенденція до збільшення частки холоднокатаного листа в загальному об'ємі листового прокату. Виробництво холоднокатаного листа в провідних країнах склало 70 - 75 % загального об'єму листового прокату.

Холоднокатаний лист одержують на безперервних 4-х, 5-х і 6-и клітьових і на реверсивних станах. Основний напрямок розвитку листових станів - створення багато клітьових безперервних станів холодної прокатки

високої продуктивності зі швидкостями прокатки 30 - 35 м/с , які випускають рулон масою до 45 - 60 т, забезпечують високу точність параметрів і якість готової продукції.

Спостерігається подальше збільшення маси рулонів, довжини бочок валків, числа робочих клітей і швидкостей прокатки. Підвищення точності параметрів готової продукції й поліпшення її якості досягають збільшенням твердості прокатних клітей, застосуванням полірованих валків, впровадження систем проти згину валків, максимальною автоматизацією станів з подальшим переходом на програмне керування.

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 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 даних і поступово коректують в процесі роботи.

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 обтиснення.
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 металу, що прокатують.
5. По прийнятих коефіцієнтах обтиску в кожній кліті визначають товщину штаби по клітях, швидкості з урахуванням випередження і натягнення, тиск і зусилля металу на валки з урахуванням пружного тиску на валків.

1.2 Чинники, які впливають на режими обтиску

Розглянемо основні чинники, які впливають на режими деформації при безперервно стаціонарно симетричному холодному прокатуванні.

Сумарне відносне обтиснення впливає на структуру і властивості холоднокатаного прокату і енергосилові параметри холодної прокатки. Тому при визначенні величини сумарного відносного обтиснення або товщини підкату враховують вимоги, які 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 обтиснення при холодному прокатуванні штаб з вуглецевих сталей складає 0,45...0,80. При прокатуванні жерсті сумарне відносне обтиснення досягає 0,90...0,95. Величина сумарного відносного обтиснення при прокатуванні легованих сталей не перевищує 0,50...0,70 [1].

Якість автомобільного листа значною мірою визначається сумарним обтисненням при холодному прокатуванні, від цієї величини залежить кінетика рекристалізації при відпалюванні холоднокатаного металу, величина рекристалізованих зерен, характер мікроструктури, механічні властивості штаби і їх анізотропія.

Вплив сумарного обтиснення при холодному прокатуванні на формування структури і властивостей сталі 08ГСЮТ досліджувалися [2] як в лабораторних умовах при моделюванні процесів холодної прокатки і відпалу, так і в умовах цеху холодної прокатки.

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

Оптимальні характеристики штампуємості 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 важливіші, які можуть впливати на кінетику знеміцнення сталі в ході рекристалізаційного відпалу і на утворення нітридних фаз.

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

Марганцевисті сталі при холодному прокатуванні сильно наклепують. У зв'язку з цим знижується пластичність сталі та підвищується тиск металу на валки. Сумарне обтиснення при прокатуванні марганцевистих сталей не перевищує 75 % – у разі прокатки до 0,5 мм, при прокатуванні до 0,9 – 70%, оскільки підкат < 2 мм на тонколистовому стані гарячої прокатки одержати неможливо. Так, у сталі 12Г2А, 12Г2, 10Г2, 16Г2 при 10% обтисненні майже рівні межі міцності. Сталі 25ХГСА, 30ХГСА, 08ГСЮФ, 08ГСЮТ порівняно пластичні. Холодна прокатка штаб з цих сталей на безперервних станах кварто після попереднього пом'якшувального відпалу не ускладнень.

Для забезпечення кращого комплексу механічних властивостей сталі сумарне обтиснення при холодному прокатуванні повинно відповідати інтервалам 53...56%, 62...64%, 70...75% [11]. Оптимальні сумарні обтиснення дозволили одержати на стані 2030 стабільність властивостей автолистової сталі (табл.1.1, цифра зліва від косої межі відповідає прокатці 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

обтисненнях спостерігається аномальна зміна властивостей, обумовлена формуванням особливої структури деформації. Цей ефект, що виявляється в зменшенні міцності властивостей металу при певних обтисненнях в процесі холодної деформації, одержав назву явище атермічного знеміцнення

Таблиця 1.1 - Стабільність властивостей сталі автомобільних листів

Товщина штаби h, мм	Межа текучості σ_T , МПа	Середньоквадр відхилення $S\sigma_T$, МПа	Коефіцієнт 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 на практиці впливу сумарного обтиснення на стабільність процесу холодної прокатки. Для дослідження впливу ефекту атермічного на площинну холоднокатаних листів стосовно виробничих умов стану холодної прокатки 1680, проведений статичний аналіз прокатаного сортаменту [16, с.63-64]. При цьому використовували результати випробувань механічних властивостей і оцінки площинної готового прокату.

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

Для встановлення зв'язку між результатами, які отримали статистичною обробкою даних зміни планшетності, і параметрами процесу прокатки в характеристичних областях обтиснень було проведено холодну прокатку на напівпромисловому стані 800/500/500. Прокатуванню піддавали гарячекатану штабу із сталі 08ГСЮТ розміром 2,5 x 315 мм із ступеневою 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 маркуванням місць вимірів.

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

Марка сталі	Зони сумарного обтиснення, %		
	ЕАР	відхилення площинності	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 штампуємість відпаленого холоднокатаного листанеобхідно 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 обтисках спостерігається аномальна зміна властивостей, обумовлена формуванням особливої структури деформації.

У зв'язку з тим, що структура і властивості металу після рекристалізаційного відпалу визначаються структурою, що сформувалася в процесі деформації, представляло інтерес вивчити, в якому ступені явище атермічного знеміцнення впливає на якісні показники відпаленого листа із сталі 08ГСЮТ. Холодну прокатку проводили на безперервному стані 1680 з підкату 2,0 мм із змінним сумарним обтисненням в інтервалі від 10 до 73%. Після відбору проб зразки відпалювали в ковпакових 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 штампуємість 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:

$$R_H = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad (1.1)$$

де, ε_x - відносні деформації по ширині;

ε_z – відносні деформації по довжині.

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 об'єму по формулі:

$$R_H = \frac{b_0 - b_1}{t_0 - \frac{t_0 b_0 l_0}{b_1 l_1}} \frac{t_0}{b_1}, \quad (1.2)$$

де, b_0 , t_0 , l_0 – ширина, товщина, довжина ділянки зразка, на якому проводять визначення рівномірного подовження до деформації;

b_1 , l_1 – ширина й довжина зазначеної ділянки після деформації.

Нормальну пластичну анізотропію вимірювали на зразках, вирізаних уздовж і поперек напрямку прокатки. Штампуємість оцінювали за середнім значенням коефіцієнта R_H . Площинну пластичну анізотропію визначали як

відношення відносних деформацій, обмірюваних у двох напрямках у площині листа (уздовж і поперек напрямку прокатки):

$$R_{пл} = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}, \quad (1.3)$$

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

При дослідженні зміни феритної структури залежно від величини сумарного обтиснення виявили монотонне зменшення середнього розміру зерна при збільшенні ступеня деформації від 10 до 73%. При обтисках 50 - 73% середній діаметр феритного зерна змінюється мало й коливається в межах від 0,015 до 0,018 мм, що відповідає 8 - 9 балам. Однак при дослідженні неоднорідності феритної структури шляхом оцінки дисперсії $S(d)$ (рис. 1.1, а) встановили, що при ступенях деформації 55 і 68% різко зростає розкид по розмірах феритного 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.

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_p 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.

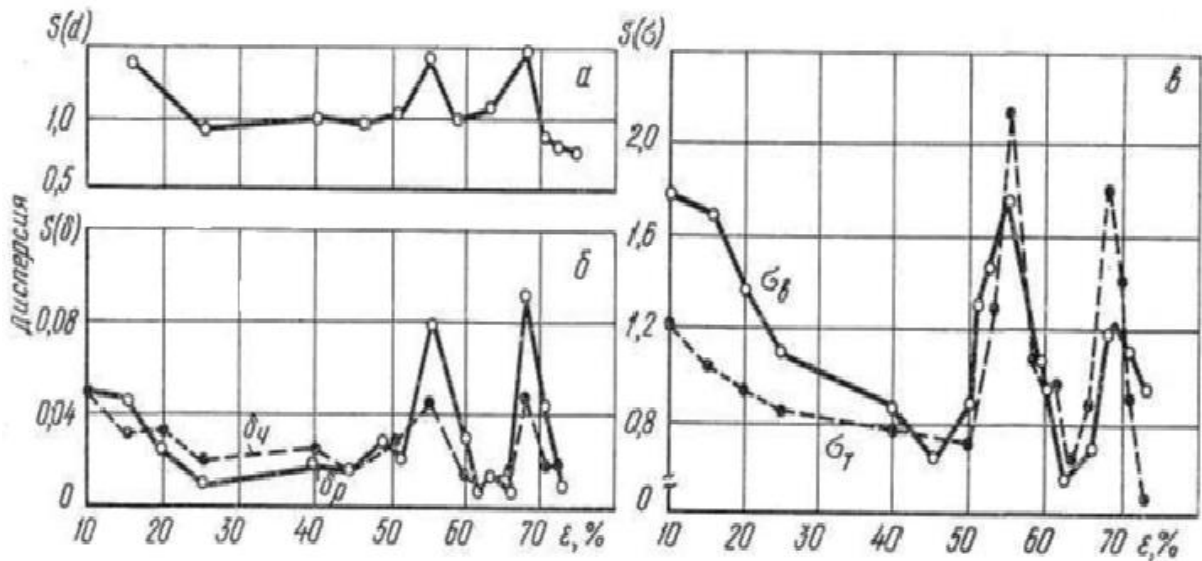


Рисунок 1.1 - Зміна дисперсії структури й механічних властивостей сталі 08ГСЮТ у відпаленому стані

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 ОЦК металів. Зі збільшенням обтиснення орієнтування, що погіршують штампуємість (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 штампуємість 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 штампуємості, 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 штампуємості, 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 штампуємості.

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 холодному прокатуванні. Значення приватних відносних обтиснень по клітках визначаються величиною вихідної межі текучості й інтенсивністю зміцнення матеріалу штаби, міцністю валків і потужністю приводу робочих клітей, умовами захвату, ефективністю технологічного змащення, режимами натягу, умовами охолодження валків, товщиною і якістю вихідного підкату, товщиною штаби, що, прокатують вимогами пропонованими до точності геометричних розмірів і якості поверхні готового прокату.

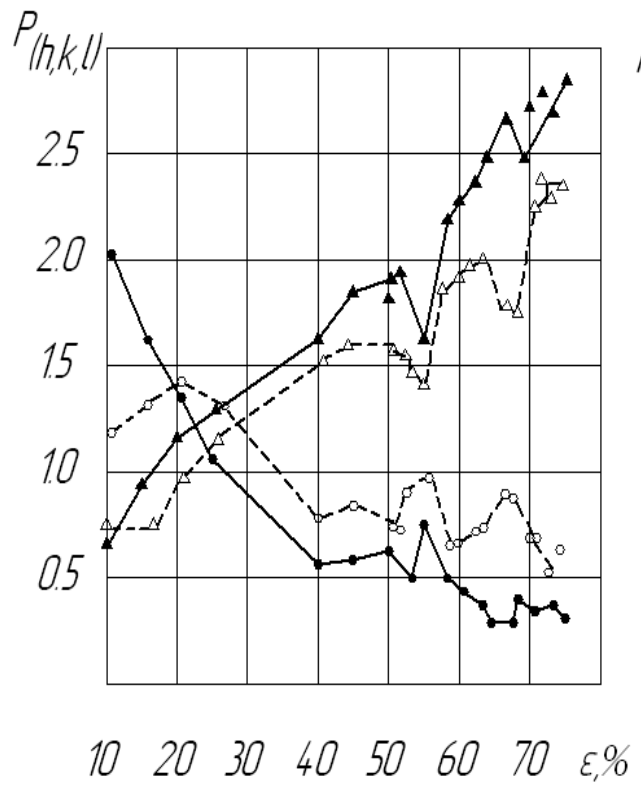


Рисунок 1.2 - Зміна полюсної щільності текстурних компонентів $\{111\}$ (Δ) і $\{100\}$ у середніх (—) і поверхневих (- -) шарах листа

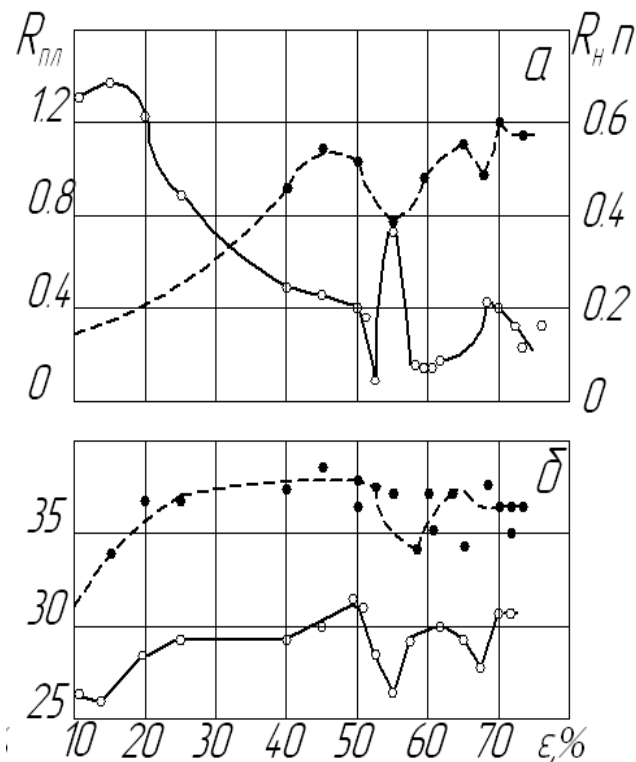


Рисунок 1.3 - Вплив сумарного обтиску на штампуємість (а) і пластичність (б) відпаленого листа

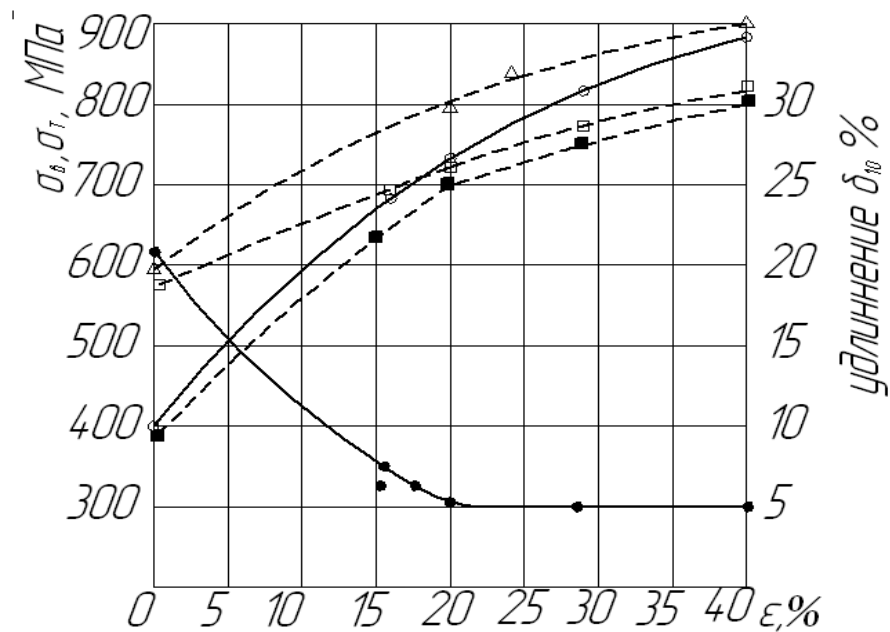


Рисунок 1.4 - Зміна механічних властивостей сталі 08ГСЮТ залежно від ступеня обтиснення при холодному прокатуванні

З урахуванням сказаного на вітчизняному і закордонному безперервному станах холодної прокатки розподіл приватних відносних обтиснень по клітях проводиться по двом принципово різним схемам [1] (рис.1.5, а, б) (де ϵ - обтиснення в %, N - номер кліті). По першій схемі (рис. 1.5, а) частки відносні обтиснення зменшуються від першої кліті до останнього. Такий розподіл обтиснень припускає ведення процесу з найбільшими деформаціями в початкових клітях 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 клітях стана характеризується найбільшою пластичністю й найменшим опором деформації. Ця схема застосовується при прокатуванні щодо товстих штаб, а також при прокатуванні тонких штаб з підкату з мінімальною різнотовщинністю й гарною планшетністю. Різновидом даної схеми є схема, представлена на рис. 1.5, що передбачає деяке зменшення приватного відносного обтиснення в першій кліті. Така схема використовується, коли гарячекатаний підкат має значну поздовжню різнотовщинність. Доцільність застосування більш

низьких відносних обтиснень у першій кліті обумовлюється тим, що найбільше зниження відносної поздовжньої різнотовщинності досягається при холодному прокатуванні, ненаклепаного металу з невеликими обтисненнями.

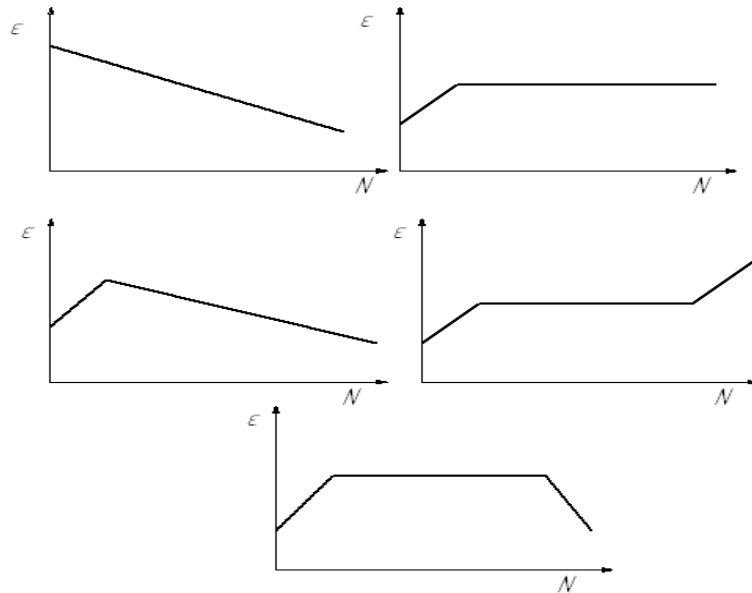


Рисунок 1.5 - Схема розподілу приватних обтиснень по клітях безперервних станів холодної прокатки

По другій схемі (рис. 1.5, б) приватні відносні обтиснення у всіх клітях, за винятком першої, встановлюються приблизно на одному рівні. Застосування менших відносних обтиснень в першій кліті обумовлюється викладеними вище міркуваннями. Різновидами другої схеми є схеми, (рис. 1.5, г, д), які передбачають прокатку із збільшенням (рис. 1.5, г) або зменшенням (рис. 1.5, д) обтиснень 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 прокатуванні тонкої жерсті. Реалізація цієї схеми до великих навантажень механічного і електричного устаткування останньої кліті, великим контактним і високою температурою 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 обтиснення (рис. 1.5, д) реалізується, коли в останній кліті застосовують робочі валки з насіченою поверхнею, або при недостатній потужності приводу моталки.

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

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

При прокатуванні в першій кліті заднє натягнення практично відсутнє, чого штаба при великих обтисках погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатки [16]. Ця обставина обмежує обтиск в першій кліті. Крім того обтискання в першій кліті обмежується тим, що гарячекатаний підкат має різнотовщинність (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 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 обтиснення в останній кліті безперервних станів враховують, що дуже велике обтиснення утрудняє надходження мастила в зону деформації, чого є погіршення якості поверхні. Іноді йдуть на збільшення обтиснень в останній кліті з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітями підвищену товщину штаби. Це зменшує обриву штаби при регулюванні товщини штаби регулюванням натягнення. Завдяки

значній деформації в останній кліті температура штаби зростає і при змотуванні штаби в рулон складає близько 200°C. Це сприятливо позначається на якості профілю штаби, що прокатують відбувається 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. Для умов роботи чотирьохклітьового стану 1700 Череповецького заводу при прокатуванні сталі 08Ю з 2,0 на 0,5 мм відносний обтиск в четвертій кліті складає 23%. При 20% допустимій зміні натягнення штаби зможе відпрацювати відносну разнотовщинність $\leq 0,1$, а при прокатуванні сталі 10сп з 4 на 2,0 мм обтиск штаби в четвертій кліті складає всього 5%. При цьому без дій на попередні проміжки відпрацювати відносну різнотолщинність величиною 2 %, тобто в 5 разів менше, ніж при обтисненні 23%.

Обтиснення в останній кліті збільшують до певної межі, на чотирьох клітьових станах при прокатуванні низьколегованих сталей – до 20 – 25%.

Величина і характер розподілу питомих натягнень по клітях стану мають великий вплив на режими обтиску [8]. Натягнення знижує контактні і силу прокатки, підвищує стійкість, сприяє вирівнюванню по ширині і зменшує неплоскостність штаби. В результаті додавання зусиль, що тягнуть, до кінців штаби змінюються також момент і потужність прокатки. При цьому заднє натягнення до зростання, а переднє до зниження моменту і потужності прокатки 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 між кліті).

Існує коректніша, але поки слабо підкріплена експериментально коректна формула:

$$\sigma_{\text{нат}} \leq 1,155 \sigma_s \cdot \gamma \quad (1.4)$$

де, σ_s – межа рівномірної деформації в дослідах на розтягування;

γ – що знижує коефіцієнт що враховує стохастичку 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 можлива 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 подовжні розтягуючі напруги розподіляються нерівномірно по ширині, і на окремих ділянках можуть набувати значення, рівного межі міцності матеріалу штаби, що також до обриву.

Стійкість процесу холодної прокатки забезпечується при натягу штаби між клітьми. При цьому натягнення:

- знижують зусилля прокатки і завдяки відповідному зменшенню пружних деформацій деталей робочої кліті дозволяють збільшити обтиснення;
- сприяють вирівнюванню штаби і виправленню хвилястості або її коробоватості;
- вирівнюють подовжню різнотовщинність штаби, при збільшенні (зменшенні) товщини підкату натягнення відповідним чином зростає (зменшується), що веде до підвищення (зниження) обтиску і, кінцево, до вирівнювання штаби.

При прокатуванні низьколегованих сталей абсолютні значення питомих натягнень в проміжках, між клітьми, не перевищують 150...400 Н/мм² а між останньою кліттю і моталкою — 50...100 Н/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 прокатуванні є механічна енергія, що складається з енергії деформації і енергії зовнішнього тертя. На створення

внутрішніх в металі витрачається 6 – 16 % від енергії деформації [12]. Решта енергії виділяється у вигляді тепла. Температура штаби при холодному прокатуванні може досягати 150 – 250 °С. Із збільшенням опору металу деформації, обтиснення і швидкості прокатки тепловиділення зростає. Температура штаби і валків при прокатуванні 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 валків у напрямі прокатки. Під поперечною стійкістю мається на увазі відсутність зсувів штаби осі прокатки.

Подовжня стійкість визначається двома чинниками — умовами захоплення штаби валками і режимами натягнення. Порушення подовжньої стійкості штаби за умовами захоплення може спостерігатися при прокатуванні з високоефективними технологічними мастилами і великими приватними обтисками. Аналогічний ефект спостерігається також при великій різниці між заднім і переднім питомими натягненнями, коли прокатка ведеться з невеликими відносними обтисненнями. Вказані чинники впливають на подовжню стійкість штаби шляхом зміни положення нейтрального перетину. Для забезпечення стійкості, штаби в подовжньому напрямі необхідно вести процес прокатки з обов'язковою наявністю у вогнищі деформації зон пластичного відставання від пластичного випередження.

Поперечний зсув штаби з'являється невідповідності форми поперечного профілю штаби на вході у вогнищедеформації формі активної утворюючої 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 змінюються температура штаби і потужність прокатки. Ці два параметри часто стають технологічними обмеженнями при розробці і реалізації режимів обтиснень на безперервних станах.

Міцні 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. У впливу механічних властивостей матеріалу штаби при розробці режимів обтиснень на будь-якому стані зводиться до знаходження найбільш величин сумарного і приватних відносних обтиснень. При прокатуванні штаб з матеріалів, що інтенсивно зміцнюються, з високою початковою межею текучості і з невисокою пластичністю, які використовують при прокатуванні величини сумарного і приватних відносних обтиснень значно нижче, ніж при прокатуванні штаб пластичних матеріалів, що слабо зміцнюються, з низькою межею текучості.

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

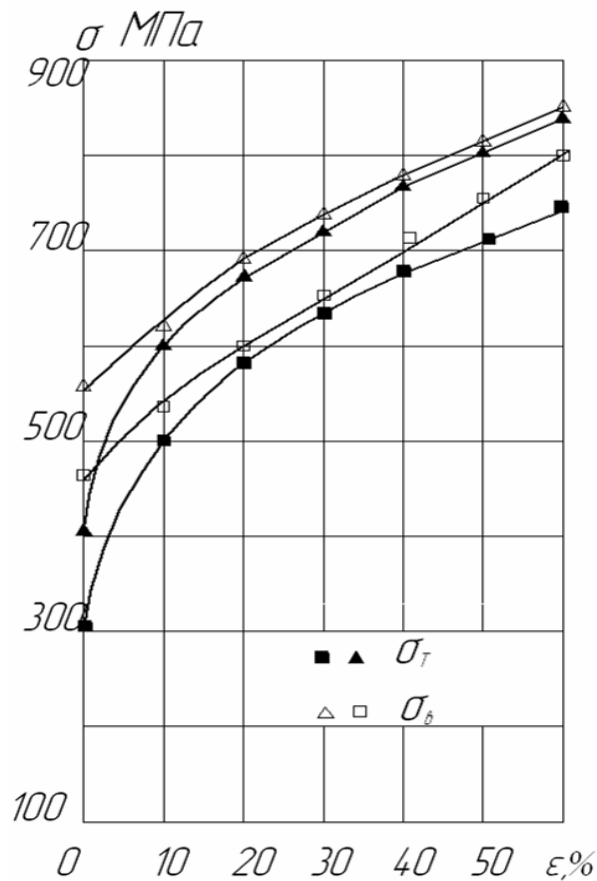


Рисунок 1.6 - Залежність міцних характеристик сталей від ступеня деформації

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 :

$$\sigma = \sigma_0 + A\varepsilon^n \quad (1.5)$$

де, σ – поточне 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 холодної прокатки суттєвий вплив на параметри процесу, а отже, і на режими обтиску, пружні деформації валків і штаби. Пружні деформації валків і штаби викликають збільшення довжини дуги контакту, нормальної контактної напруги і сили прокатки. Це до збільшення витрати енергії, погіршення температурних умов холодної прокатки і зниження ефективності процесу. Із зменшенням товщини штаби вплив пружних деформацій валків і штаби на параметри процесу зростає, що зовні виявляється в зниженні обтиску здібності кліті. У граничному випадку, коли величина пружного радіального стиснення робочих валків стане рівною товщині штаби за вирахуванням її пружного відновлення, пластична деформація практично припиняється, і процес прокатки стає неможливим. Це явище відоме в літературі як необтиснена штаба.

Обривність є одним з основних чинників, що впливають на продуктивність стану і стійкість валків. Тому для інтенсифікації прокатки на безперервному стані важливо вивчити і усунути причини що до обривності штаби. Обрив відбувається 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 до ривків натягнень.

Для зведення до мінімуму виникнення умов, коли $q_i \geq \sigma_B$ (де q_i - питоме 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 обтисків в останній кліті з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітями підвищену товщину штаби. Це зменшує 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 обтиснень і швидкості прокатки на кожному стані. З підвищенням ефективності технологічного мастила, тобто із зменшенням коефіцієнта тертя, знижуються енергосилові параметри прокатки і створюються умови для ведення процесу з вищими приватними і сумарними відносними обтисками. Із зменшенням коефіцієнта тертя також температурні умови деформації, що сприяє збільшенню швидкості прокатки і продуктивності безперервних станів.

Стан (шорсткість) поверхні робочих валків визначається вимогами, що пред'являються до якості готової штаби, і умовами її обробки на 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 валки певною шорсткістю. Використання в окремих клітках стану робочих валків з різною шорсткістю має 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 регламентацією величини приватного обтиснення в останній кліті безперервного стану і кількості прокатоного металу.

Точність і якість поверхні підкату. Показники точності і якості поверхні підкату надають, а деколи і вирішальний 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 обтисненнями. 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, сажі. Вплив режимів обтиснень на забрудненість штаби в даний час досліджений недостатньо. Разом з тим відомо, що забруднення поверхні штаби зменшується із зростанням швидкості прокатки. Збільшення відносного обтиску в останньому кліті і шорсткості штаби до збільшення механічних і жирових забруднень. Підвищення концентрації емульсії викликає збільшення жирових і зменшення механічних забруднень поверхні металу. Збільшення механічних домішок в емульсії 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 обтиснення в першій і клітях. У випадках, коли биття валків значно, для отримання мінімальної подовжньої різнотовщинності доцільно використовувати режими із збільшенням обтиснення від першої кліті до останньої.

Для забезпечення високої ефективності роботи систем автоматичного регулювання товщини (САРТ), натягнень (САРН), профілю і форми штаби (САРПФ) на безперервних станах холодної прокатки необхідно

застосовувати приватні відносні обтиски в кожній кліті не менше 0,05...0,10 . Першу кліть використовують для регулювання подовжньої різнотовщинності із застосуванням САРТ, тому вона повинна мати резервну потужність для забезпечення необхідного діапазону регулювання. Остання кліть 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 прокатуванні мають яскраво виражений мінімум. Визначення умов ведення процесу холодною прокатки мінімальною силою зводиться до знаходження мінімуму функції $P_c = \varphi(h_o)$, тобто до рівняння:

$$\frac{dP_c}{dh_o} = 0 \quad (1.6)$$

Мінімум на кривих $P_c = \varphi(h_o)$ свідчить про те, що є одне значення товщини $h_{от}$ ($h_{от}$ – товщина штаби на вході у вогнищі деформації, що задовольняє умові (1.6)) і відповідна йому одна величина приватного обтиснення ϵ , які, за інших рівних умов, забезпечують реалізацію процесу з мінімальною силою.

Здійснення холодної прокатки тонких штаб мінімальною силою енергетично вигідно і забезпечує найбільшу обтискну здатність кліті. Енергетично вигідним також прокатка штаб товщиною $h_0 > h_{от}$ (h_0 – товщина штаби на вході у вогнищі деформації), оскільки в цих умовах вирішальний вплив на силу прокатки мають параметри пластичної деформації процесу. Вплив пружних деформацій валків і штаби на силу прокатки при цьому виявляється найменшим.

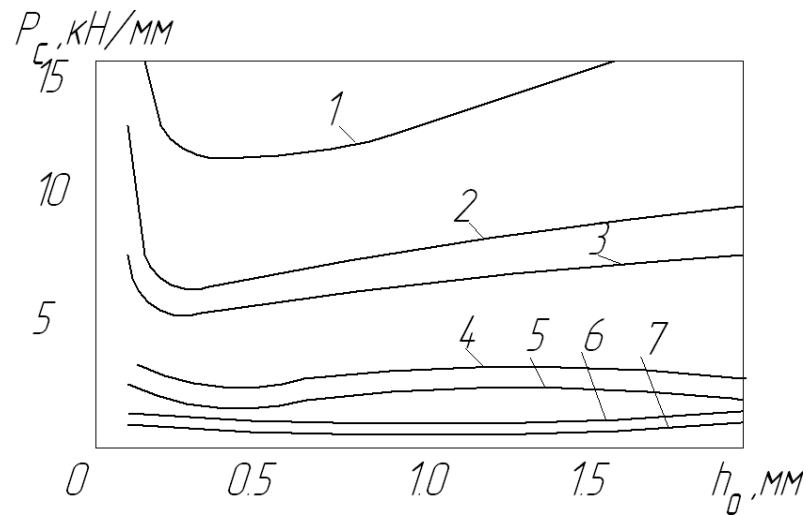


Рисунок 1.7 - Залежності $P_c = \varphi(h_0)$ побудовані інженерної моделі (сталь 08кп; $\varepsilon = 0$; $R = 300$ мм; $q_0 = q_1 = 0$, $f = 0,03$):

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 – $\varepsilon = 0,005$;

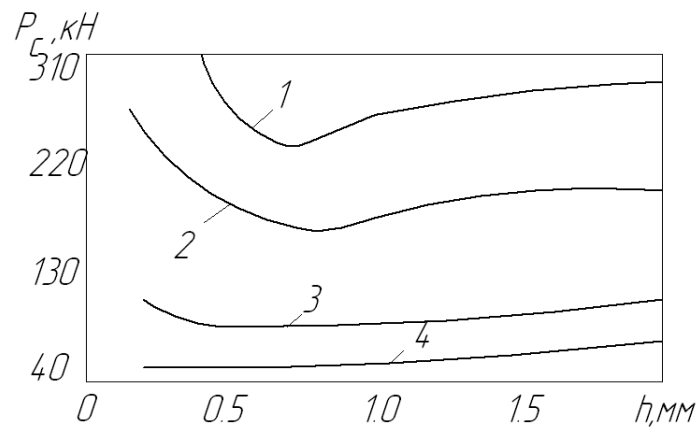


Рисунок 1.8 - Експериментальні залежності $P_c = \varphi(h_0)$, побудовані за даними прокатки відпалені зразків із сталі 08кп на стані 210:

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 переважний вплив на всі параметри процесу холодної прокатки починають надавати пружні деформації інструменту і металу. Пружні деформації інструменту і металу збільшують інтенсивність зростання нормальних контактних і довжини дуги контакту, що додаткове зростання сили прокатки. У міру зменшення товщини штаби інтенсивність зростання нормальних контактних напружень і довжини дуги контакту ще

більше збільшується. З цієї причини збільшується інтенсивність зростання сили прокатки, що сприяє зниженню обтискної здібності кліті. Знижується також енергетична ефективність процесу, оскільки із збільшенням довжини дуги контакту зростає частка енергії, що витрачається на подолання опору сил тертя у вогнищі деформації.

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

Як вже наголошувалося визначення умов ведення процесу холодної прокатки з мінімальною силою зводиться до знаходження мінімуму функції $P_c = \varphi(h_0)$, тобто до рішення рівняння (1.6).

Визначення умов ведення процесу з мінімальною силою найактуальніше при прокатуванні тонких штаб у валках великого діаметру, тобто при великих значеннях параметра R/h_0 . Проте у ряді випадків визначення умов прокатки з мінімальною силою може бути актуальним і при холодному прокатуванні товстих штаб, тобто при відносно невеликих значеннях параметра R/h_0 (наприклад, при прокатуванні листів з високоміцних матеріалів на станах листової прокатки, 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 холодної прокатки мінімальною силою на діючих станах пов'язано з визначеними, часом труднощами організаційного і технологічного характеру. Ці труднощі полягають в прийнятих на кожному заводі режимах обтиснень, технологічних схемах, що склалися, традиціях і персоналу. Наприклад, важко змінити товщину або проміжного підкату, вид технологічного мастила і радіус валків, а іноді режими натягнень і обтиснень на конкретному стані. Тому сенс даного дослідження бачиться і не стільки у

визначенні умов холодної прокатки з мінімальною силою, з метою реалізації такого процесу, скільки у виявленні умов ведення процесу холодної прокатки в енергетично, сприятливої області. Цим умовам задовольняє нерівність $h_0 \geq h_{от}$.

Таким чином, в результаті рішення рівняння (1.6) набуваємо чисельного значення одного з технологічних обмежень, тобто значення товщини штаби $h_{от}$.

Висновки

До холоднокатаних листів висувуються високі вимоги по планшетності і різнотовщинності ці і ряд інших вимог до якості листа виступають обмежуючим чинником при виборі режимів обтиснень.

Обтиск в першій кліті.

При прокатці в першій кліті задне натягнення практично відсутнє, унаслідок чого штаба при великих обтисканнях погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатки. Ця обставина обмежує обтискання в першій кліті. Крім того обтискання в першій кліті обмежується тим, що гарячекатаний підкат має істотну різнотовщинність (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 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.

Обтиск в останній кліті.

При виборі величини обтискання в останній кліті 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 кліті з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітями підвищену товщину штаби. Це зменшує вірогідність обриву штаби при регулюванні товщини штаби регулюванням натягнення. 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 прокатоної 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. Для умов роботи чотириклетьового стану 1700 Череповецького заводу при прокатуванні стали з 2,0 на 0,5 мм відносно обтискання в четвертій кліті складає 23%. При 20%-ній допустимій зміні натягнення штаби регулятор зможе відпрацювати відносну різнотовщинність

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 їх змін і схеми кодування наведено в таблиці 2.1

Фактор, позначений "X₀" – так називаємо фіктивну змінну – вводимо для розрахунку вільного члена вишуканої моделі – коефіцієнт "b₀".

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 дослідів варто дублювати. Частіше дублюють не всі дослідів, а тільки дослідів на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії дослідів S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} \quad (2.1)$$

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 ступенів свободи ($f_1 = n - 1$).

Для визначення дисперсії дослідів було організовано дослідів 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

Дослід	y_e	$ y_{oe} - y_o $	Δy_e^2	$\Sigma \Delta y$
9	11,68	0,03	0,0009	0,0038
10	11,67	0,02	0,0004	
11	11,60	0,05	0,0025	
	$y_0 = 11,65$			

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:

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (2.2)$$

де b_j – значення j -го коефіцієнту регресії;

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

Y_n – значення параметру оптимізації в n -ому досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті отримуємо модель, котра має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_j X_j$$

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

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi} \quad (2.3)$$

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (2.4)$$

t_{α, f_1} – значення критерію Ст'юдента, що вибирається в залежності від рівня значимості α і числа ступенів волі при визначенні дисперсії досліджуваної функції 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, яке дорівнює 4,3. Визначимо 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 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. Таблицю 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 дослідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації. Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{расч})^2}{f_2} \quad (2.5)$$

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

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

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} \quad (2.6)$$

Таблиця 2.5 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δу	Δу ²
	експериментальні	розрахункові		
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

$\Sigma = 2,292$

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

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 параметрів, що оптимізуються. 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 точки вивченого факторного простору.

Крім того, отриману залежність можна представити графічно у вигляді 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 фактору X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком "-"). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактору 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:

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

Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення y :

$$y_1 = 12,044; y_2 = 11,857; y_3 = 11,67.$$

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

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

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

$$y_1=11,927; y_2=11,857; y_3=11,787.$$

Будуємо графічні залежності (рис. 2.1-2.8).

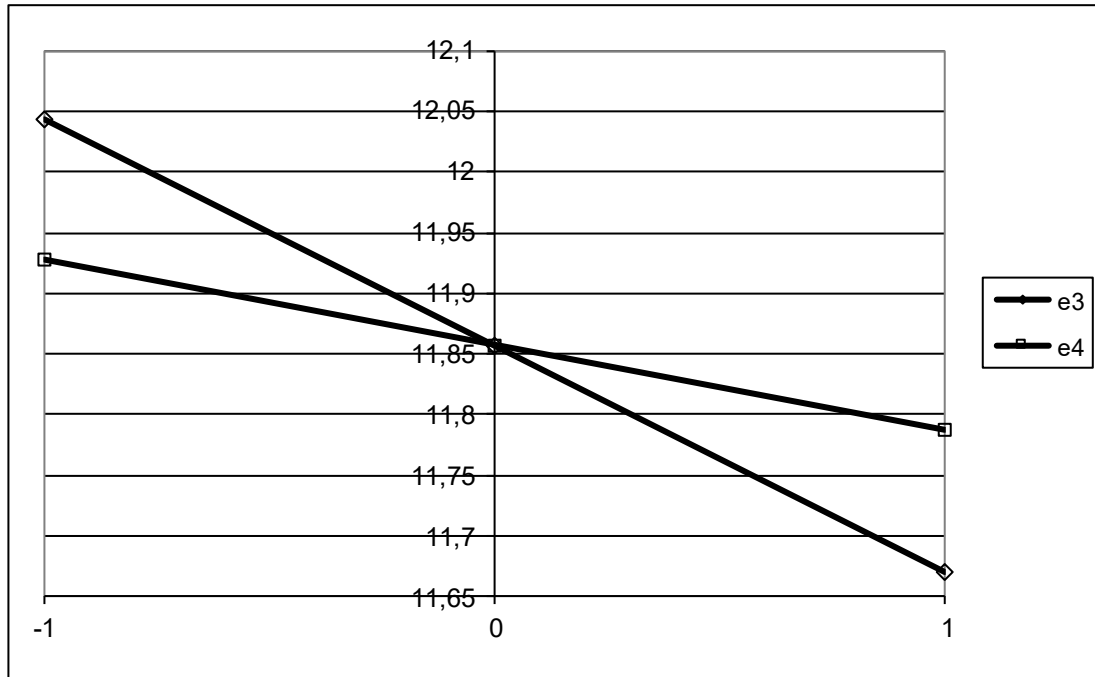


Рисунок 2.1 - Графічна залежність зусилля прокатки від відносного обтиснення у 3-й та у 4-й кліті в кодованому виді

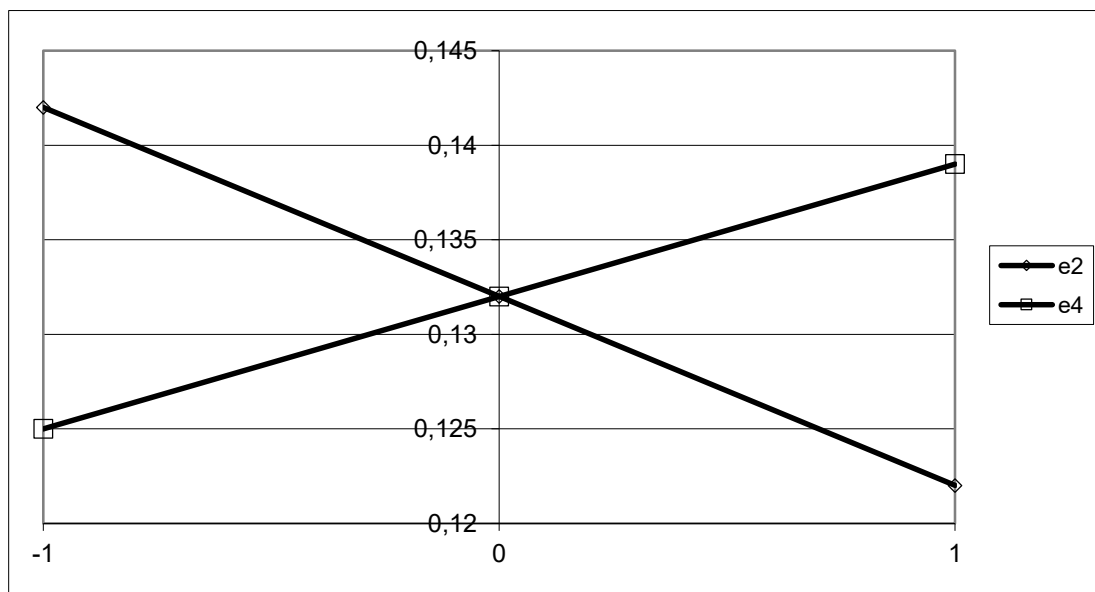


Рисунок 2.2 - Графічна залежність моменту прокатки від відносного обтиснення у 2-й та у 4-й кліті в кодованому виді

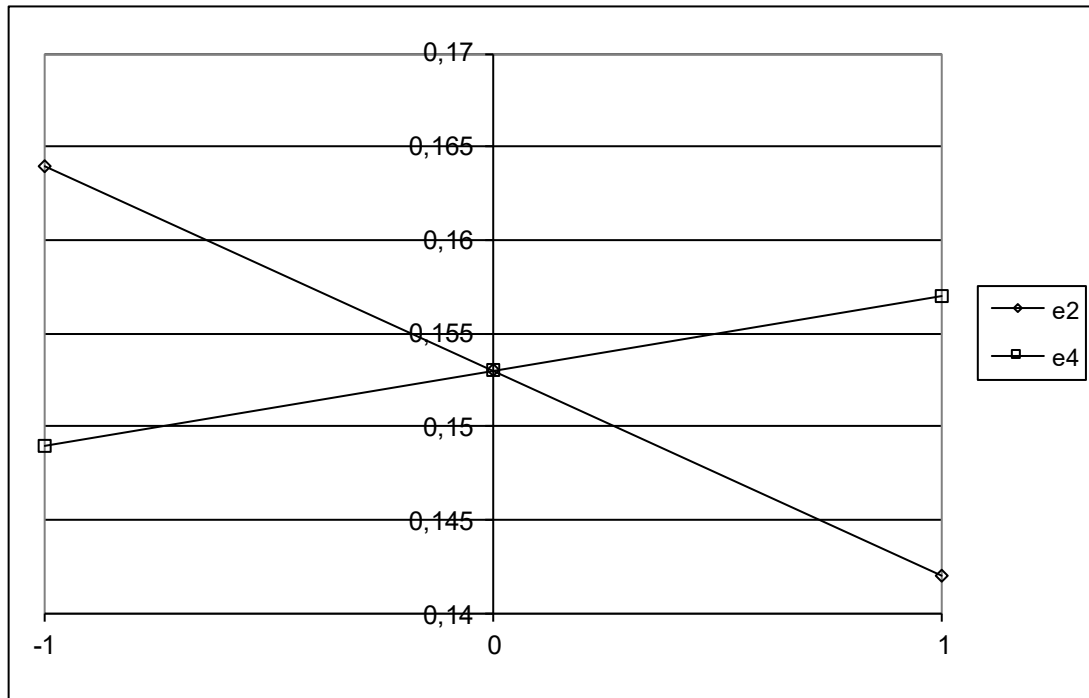


Рисунок 2.3 - Графічна залежність моменту двигуна від відносного обтиснення у 2-й та у 4-й кліті в кодованому виді

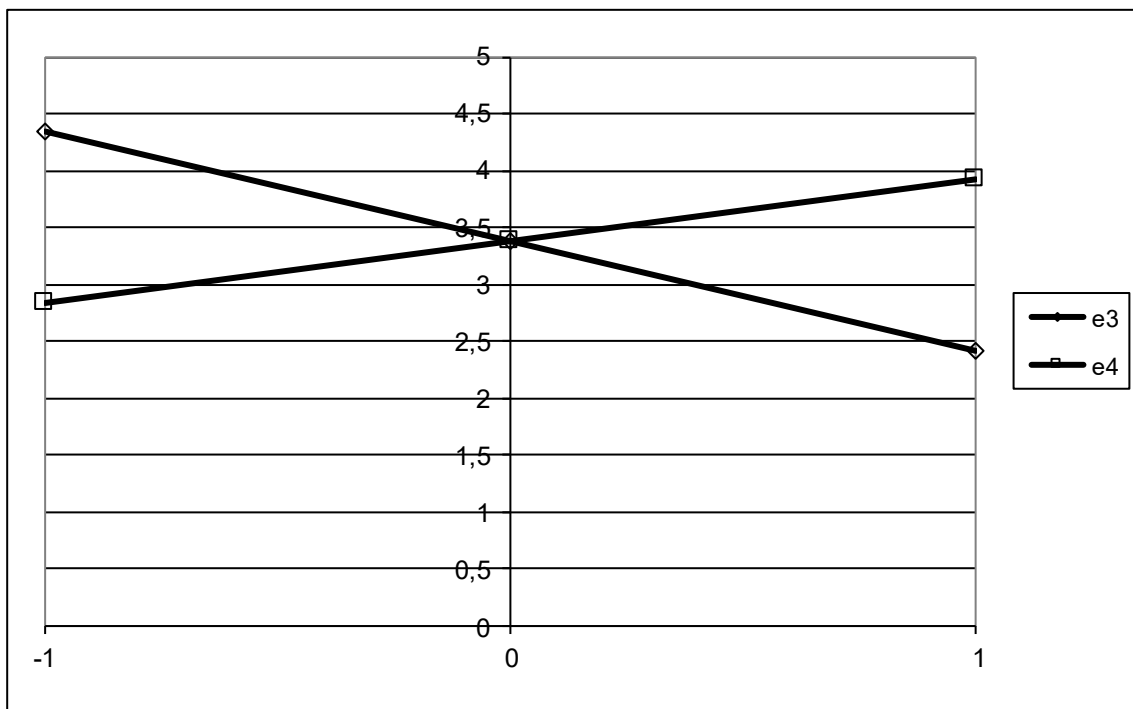


Рисунок 2.4 - Графічна залежність потужності двигуна від відносного обтиснення у 3-й та у 4-й кліті в кодованому виді

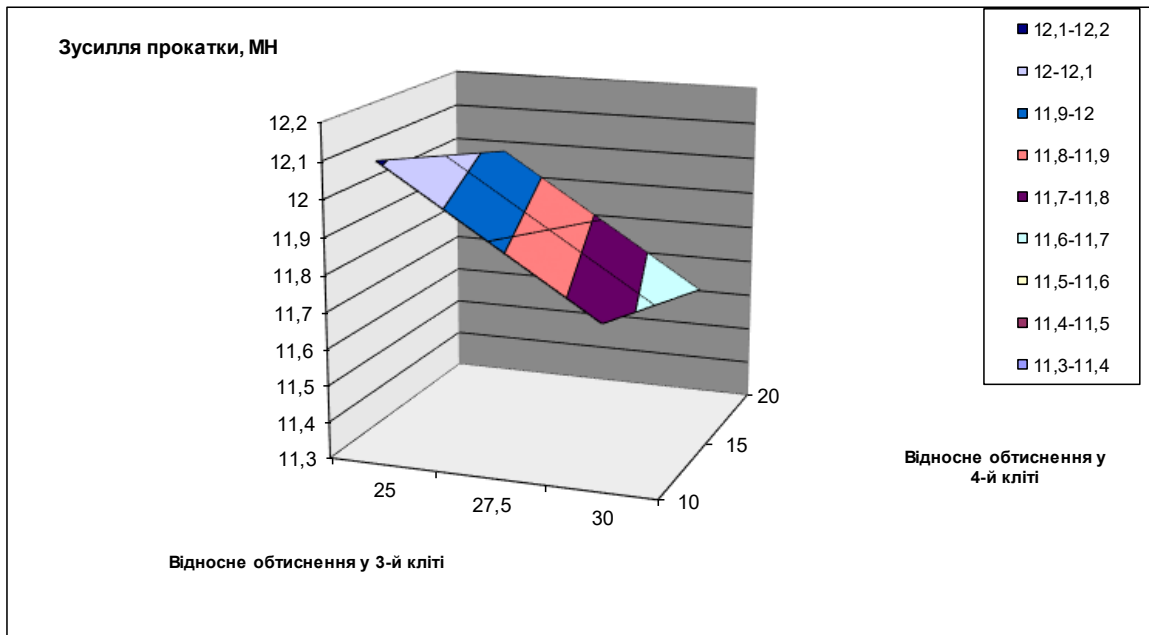


Рисунок 2.5 - Оптимальні поверхні відгуку зусилля прокатки

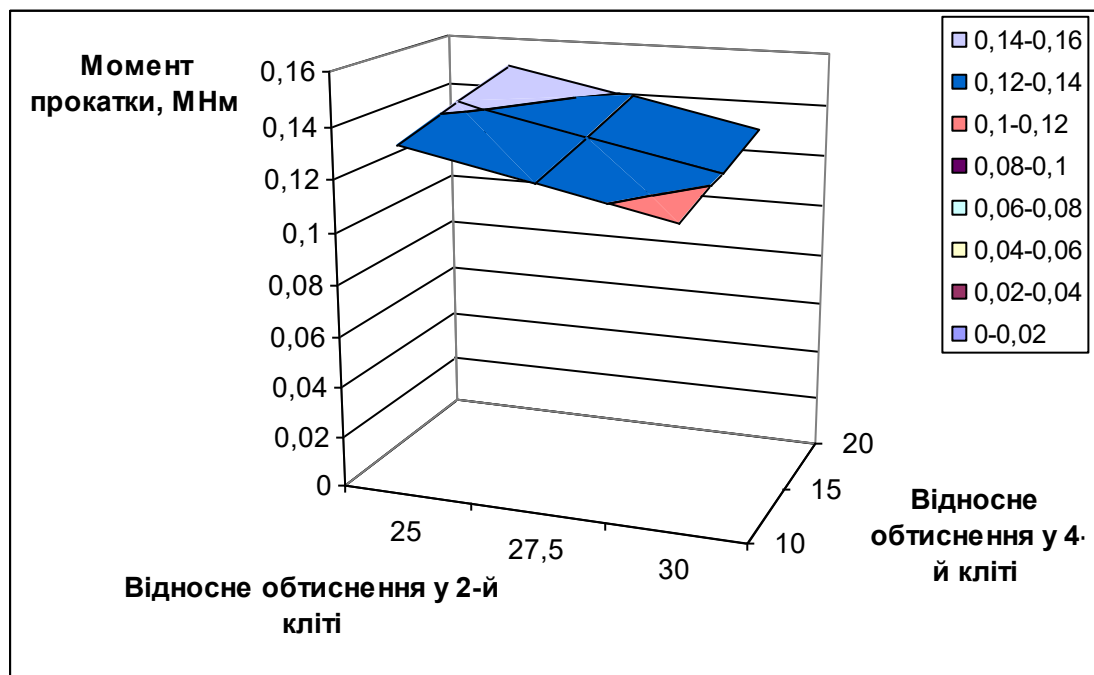


Рисунок 2.6 - Оптимальні поверхні відгуку моменту прокатки

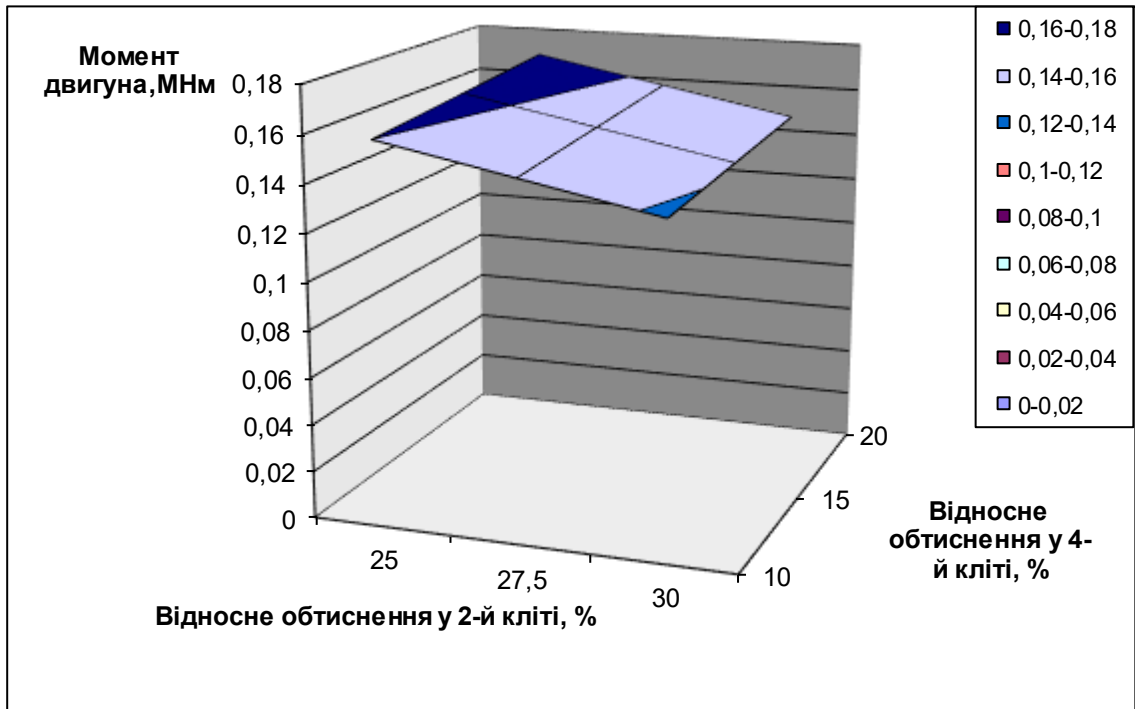


Рисунок 2.7- Оптимальні поверхні відгуку моменту двигуна

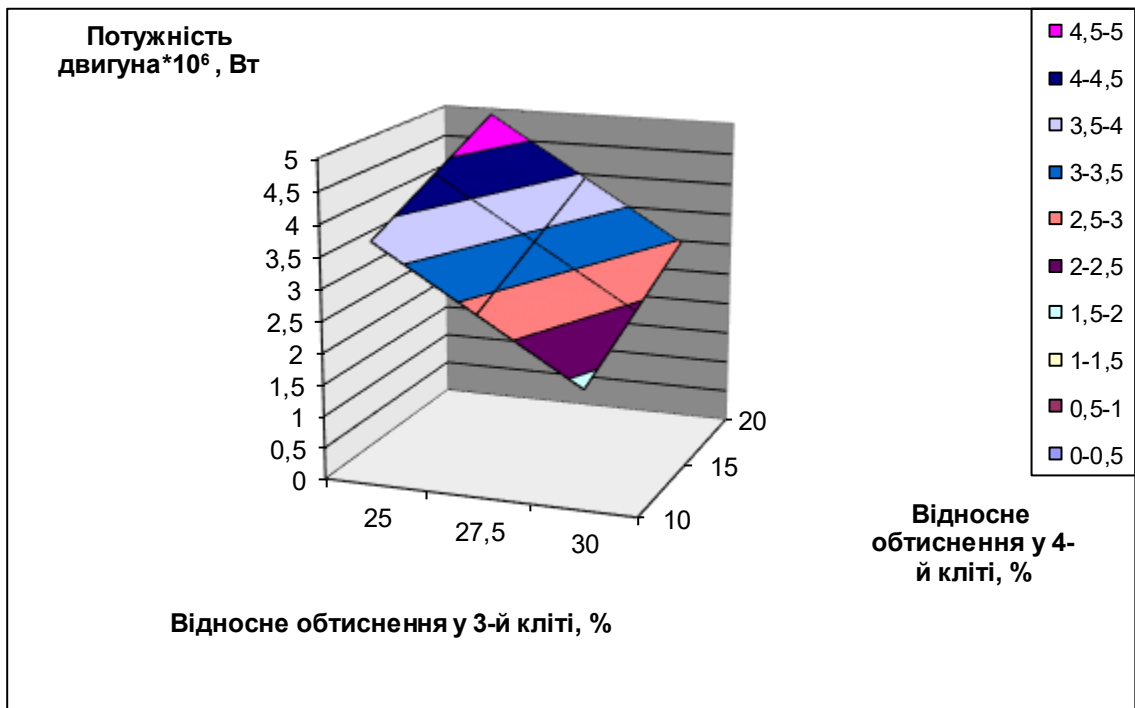


Рисунок 2.8 - Оптимальні поверхні відгуку потужності двигуна

2.2 Обґрунтування завдання та методика дослідження

Для оптимізації холодної прокатки необхідно ретельніше роздивитися ряд, що впливають на процес прокатки.

2.2.1 Режими натягнень. Розподіл натягнень в штабі

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

Процес холодної прокатки штаб характерний нерівномірністю розподілу і питомих натягнень по їх ширині [17, с.88-89]. При цьому, як показують дослідження, 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 і деякої коробоватості штаби. Оскільки прокатка з коробоватістю забезпечує стійкість штаби у валках (відсутність зсувів їх осі), то цей спосіб прокатки 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 багатьох станах холодної прокатки.

Вимірювання питомих натягнень здійснювали магніто-анізотропним датчиком відстанню між полюсами 20 мм. Роботу датчика забезпечували підсилювач, фазочутливий детектор, генератор і вузол живлення. 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; 69 Ом; коефіцієнт передачі підсилювача 30.

Дослідження по вимірюванню питомих натягнень виконані на безперервних станах 1680 і 650. При прокатуванні штаби 2x1100 мм із сталі марки 08ГСЮТ на безперервному стані 1680 напруги на відстані 1700 мм від осі

валків (рис. 2.9).

Значна нерівномірність подовжніх по ширині має місце на виході штаби з кліті 4 безперервні стани 1680 (рис.1.6). Тут при середньому питомому натягненні в штабі 4-5 кгс/мм² у середині ширини переважають залишкові стиснення (рис. 2.9).

Помітна нерівномірність питомих натягнень виявлена на безперервному стані 650. При прокатуванні на цьому стані по всій ширині штаб спостерігається дія напружень розтягування, причому на кромках штаб відношення $\sigma_n/\sigma_{н.о}>1,5...2$ (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 ах 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 $L/B<1$. Відмічена відмінність обумовлена деякої коробоватістю штаби, при якій основна частка питомих натягнень розташовується на ділянках ширини штаби на всій вільній ділянці між кліті. При інших параметрах прокатки (інших активної створюючої валків, форми і товщині штаби, швидкості прокатки і т.п.) значення питомих натягнень σ_n можуть дещо відрізнитися від даного сьогодення дослідів, загальний характер зміни σ_n по ширині штаби при прокатуванні з коробоватістю буде аналогічним.

Велика відмінність у величинах питомих натягнень на кромках і у середині ширини штаби не є технологічно необхідним. Подібні епюри можливі у зв'язку з відсутністю засобів контролю розподілу їх по ширині штаби, а отже, відсутністю даних для регулювання процесу прокатки з метою вирівнювання подовжніх .

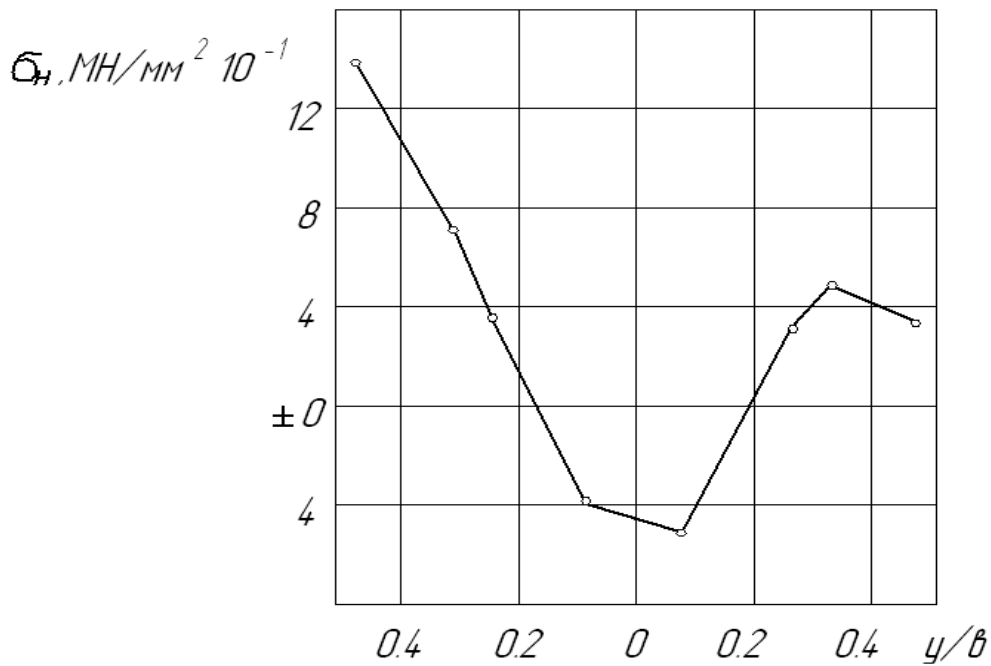


Рисунок 2.9 - Розподіл подовжніх зусиль в штабі (безперервний стан 1680).

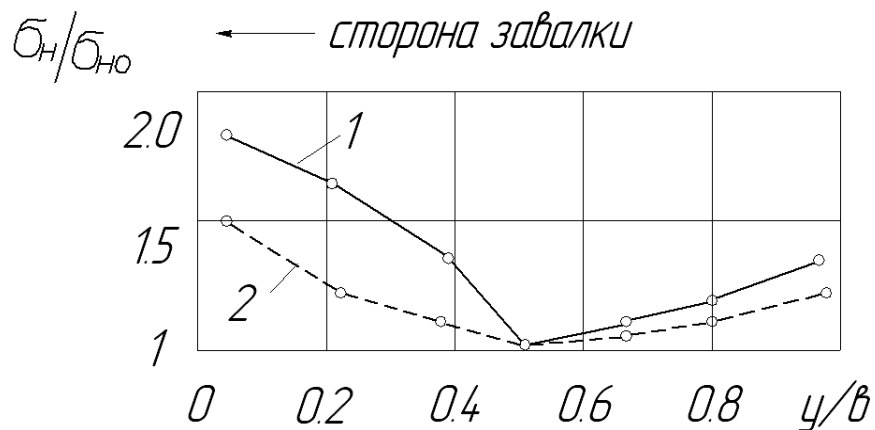


Рисунок 2.10 - Зміна $\sigma_n/\sigma_{но}$ по ширині штаби: 1,2 – штаба 0,3x750 після третьої кліти чотирьохклітьового стану (1 – на відстані 1000, 2 - на відстані 2000 від осі валків)

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

Процес тонколистового плющення 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

$$K_B = \frac{\frac{\Delta H}{H}}{\frac{\Delta h}{h}} > 1 \quad (2.7)$$

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

$$\frac{a}{l} = f\left(\frac{\Delta\mu}{\mu}, \varepsilon, H, B\right) \quad (2.8)$$

де, a – амплітуда півхвилі;

l – довжина півхвилі;

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

ε – відносне обтиснення;

H – товщина штаби, що прокатують;

B – ширина штаби, що прокатують.

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

2.2.2 Температурні умови прокатки. Розподіл температури по довжині бочки валка

Розподіл температури по довжині бочки валків залежить від температури штаби і умов охолодження, марки сталі, що прокатують її ширини, наявності скосів на опорних валках і рівномірності подачі охолоджуючої рідини по довжині бочки валків а більшості випадків в наступних межах: різниця температур між серединою і краєм бочки 5 – 25 °С, між правим і лівим краєм 0 – 5 °С [25]. Так для чотирьох клітьового 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 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 холодної прокатки 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 клітях стану одним з найважливіших, що визначають тепловий режим. Температура штаби на останніх клітях різко підвищується у разі розподілу обтиснень по тому, що зростає від першої до останньої кліті закону. Це торкається перш температурних умов деформацій в останніх клітях стану. В тепла формо змінення і тепло тертя, що виділяється у деформації, температура штаби і поверхневого шару робочих валків на виході з деформації від першої кліті до останньої підвищується і із збільшенням швидкості прокатки може досягати значень, відповідних температурі термічного розкладання технологічного мастила. Тоді на робочих валках і штабі з'являються характерні дефекти теплового походження ("теплові подряпини", "лимонна" і ін.). Для усунення вказаних дефектів звичайно вдаються до зниження швидкості прокатки, що до зменшення продуктивності станів. Слід основною причиною, перешкоджаючої досягненню проектної швидкості на багатьох вітчизняних і зарубіжних безперервних станах холодної прокатки, є важкі температурні умови прокатки.

Великий вплив на стабільність і якість прокатки робить температура емульсії. Стабільність процесу прокатки залежить від якості форми штаб, що прокатують. Для отримання рівних штаб необхідно в процесі прокатки

постійно регулювати форму між валкового зазору так, щоб забезпечити по ширині штаби. Теплове регулювання профілю прокатних валків, хоч і має ряд недоліків (інерційність і трудомісткість) але в сукупності з гідрозгибом дозволяє впливати на розміри прокатної щілини і одержувати необхідну форму штаби.

При холодному прокатуванні за рахунок тепла деформації і зовнішнього тертя відбувається інтенсивний нагрів робочих валків; для його зменшення на валки 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 прокатки і режиму охолодження; відповідно і міняється і теплова опуклість валків.

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

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

Спочатку прокатку штаб вели на емульсії температурою 30 °С, що забезпечувало ефективне охолодження валків під час роботи стану, але негативно позначалося на подальшомупрокатуванні після пауз і зупинок, 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 по прокатуванню штаб на емульсії температурою 30, 35, 40, 45 і 50 °С по наступній методиці.

Після інтенсивної прокатки 200 – 250 тон металу одного розміру на емульсії із заданою температурою одночасно у всіх клітках вимірювали температуру робочих валків в семи по довжині бочки контактними хромель-копелевими термопарами. В процесі прокатки фіксували параметри системи охолодження і візуально оцінювали площинну штаб. За даними побудували криві розподілу температури валків по довжині їх бочок (рис. 2.11 – для четвертої кліті) і визначили різницю між максимальними температурами валків і емульсії за різних умов охолодження (табл. 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 відмиваючою . При охолодженні емульсією валків на штабі менше відкладається жирових з'єднань, що до утворення сажі при відпалі. Прокатка ж на емульсії з температурою вище 55 °С і вище викликає інтенсивне випаровування, яке перешкоджає візуальному спостереженню за профілем штаб, що прокатують.

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

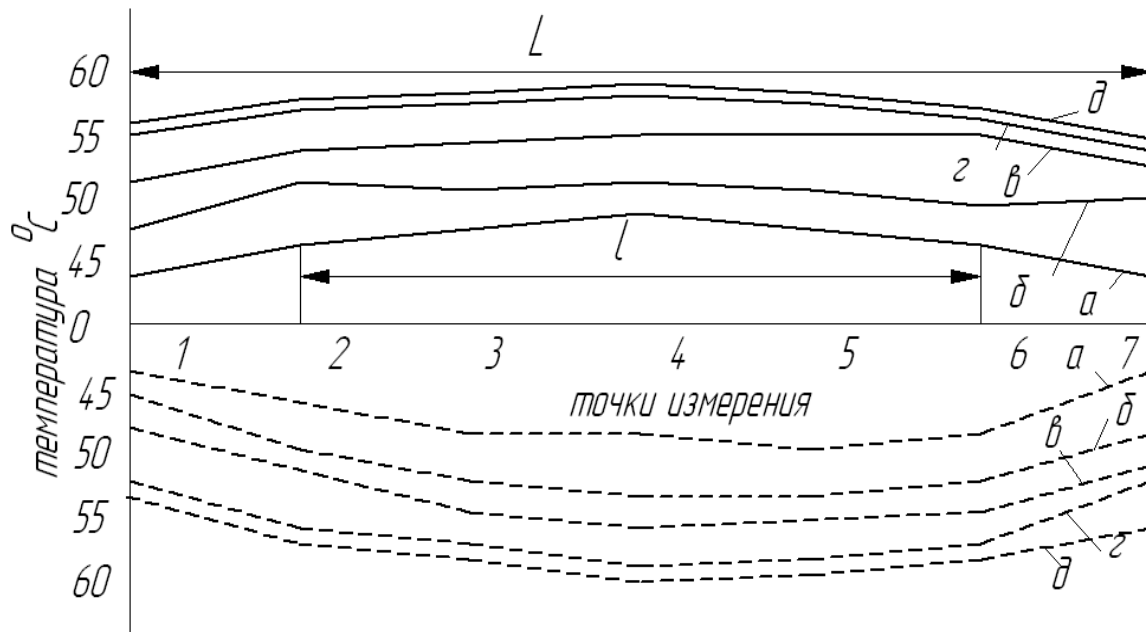


Рисунок 2.11 - Розподіл температури по довжині бочок нижнього (штрихові криві) і верхнього (суцільні) робочих валків четвертої кліти:

а – температура емульсії на подачі 31 °С і її витрата 400 м³/г; б – температура емульсії на подачі 35 °С і її витрата 430 м³/г; у – температура емульсії на подачі 40 °С і її витрата 470 м³/г; г – температура емульсії на подачі 50 °С і її витрата 630 м³/г;
(L – довжина бочки валка, l – ширина штаби)

2.2.3 Вплив ступеня деформації і технологічного мастила на при холодній прокатці

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

Дослідження проводили на лабораторному прокатному стані 300 [19, с.78-80], обладнаному сучасною тензометричною апаратурою. Штаби 1x40x1000 мм, вирізані відпаленої листової низьколегованої 25ХГСА сталі,

яку прокатували на стані із швидкістю 4,5 м/с при постійній установці натискних 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.

При прокатуванні застосовували водну емульсію мастила А20 при температурі 60-70 °С і лужності рН = 8 – 9 з концентрацією поверхнево активних речовин 0,5; 4; 8 і 16%. Мастило А20 (ТУ 38-30703-70) виробництва Шебекинського хімкомбінату є продуктом конденсації тріетаноламіну з синтетичними жирними кислотами фракції С18-С25, з кислотним числом 30 міліграм КОН/г, числом обмилення 140 міліграм КОН/г і температурою капле падіння 48-55°С.

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 на поверхні тонкого міцного твердого шару мастила. У дослідах варіювали відносне обтиснення в межах від 10 до 30%. За допомогою осцилографа Н700 на фото паперову стрічку записували силу прокатки. Вплив на процес прокатки сил тертя, виникаючих на контактній поверхні валків і металу, оцінювали після кожного проходу по коефіцієнту витяжки μ , випередженню S , показнику протяжності зон деформації

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \sqrt{\frac{S}{\mu - 1}} \quad (2.9)$$

і коефіцієнту напруженого стану

$$n = \frac{p}{k} \quad (2.10)$$

де p - тиск металу на валки, кгс/мм²;

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

$$\kappa = 1,15 \left[\mu_{02} + \frac{1}{2} A \left(\frac{\mu - 1 - S}{\mu} 100 \right)^n + \frac{1}{2} A \left(\frac{S}{1 + S} 100 \right)^n \right] \quad (2.11)$$

одержаної на підставі емпіричної залежності.

Одночасно коефіцієнт напруженого стану визначаємо розрахунковим шляхом по формулі:

$$n_{нс} = \frac{n_{OT} l_{OT} + n_{OP} l_{OP}}{l_c} \quad (2.12)$$

де l_{OT} – довжина дуги зони відставання;

l_{OP} – довжина дуги зони випередження;

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

ρ_{OP} – коефіцієнт напруженого стану в зоні випередження.

Визначаються по формулах:

$$n_{OT} = \frac{\rho_{OT}}{k_{OT}} \quad (2.13)$$

$$n_{OP} = \frac{\rho_{OP}}{k_{OP}} \quad (2.14)$$

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

ρ_{OT} і ρ_{OP} – в зоні відставання і випередження, визначаються по формулі:

$$\rho_{OT(OP)} = \frac{1}{F_{OT(OP)}} \int_{h_H}^{H, h_H} p_{xOT(OP)} dx \quad (2.15)$$

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

Поточний тиск визначали по зонах, причому в зоні відставання:

$$p_{ХОТ} = \frac{k_{ОТ}}{\delta_{ОТ}} \left[(\delta_{ОП} - 1) \left(\frac{H}{h_{ХОТ}} \right)^{\delta_{ОТ}} + 1 \right] \quad (2.16)$$

а в зоні випередження:

$$p_{ХОП} = \frac{k_{ОП}}{\delta_{ОП}} \left[(\delta_{ОП} + 1) \left(\frac{h_{ХОП}}{h} \right)^{\delta_{ОП}} - 1 \right] \quad (2.17)$$

де H і h - товщина штаби до і після прокатки;

$h_{ХОТ}$ і $h_{ХОП}$ - поточна товщина штаби відповідно в зоні відставання і випередження;

δ , $\delta_{ОТ}$ і $\delta_{ОП}$ - показники умов тертя відповідно загальний, в зоні відставання і випередження:

$$\delta = \frac{1}{1 - 2 \frac{\gamma}{\alpha}}; \quad \delta_{ОТ} = \frac{1}{1 + 2 \frac{\gamma}{\alpha}}; \quad \delta_{ОП} = \frac{1}{\frac{\gamma}{\alpha}}.$$

Ради спрощення рішення задачі з достатнім ступенем точності дугу 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:

$$n_{н.с} = \frac{p}{k} = \frac{h_n}{\Delta h \delta} \left[\left(\frac{H}{h_n} \right)^{\delta_{ОТ}} + \left(\frac{h_n}{h} \right)^{\delta_{ОП}} - 2 \right] \quad (2.18)$$

Як видно з рис. 2.10, і збільшенням ступеня деформації розкату і концентрації в мастилi поверхнево активних речовин і спостерігається збільшення. З підвищенням обтиснення і концентрації поверхнево-активних речовин в мастилi А20 спостерігаються пробуксували, чого при високих значеннях вищенаведених параметрів плющення стає майже неможливим (рис. 2.12).

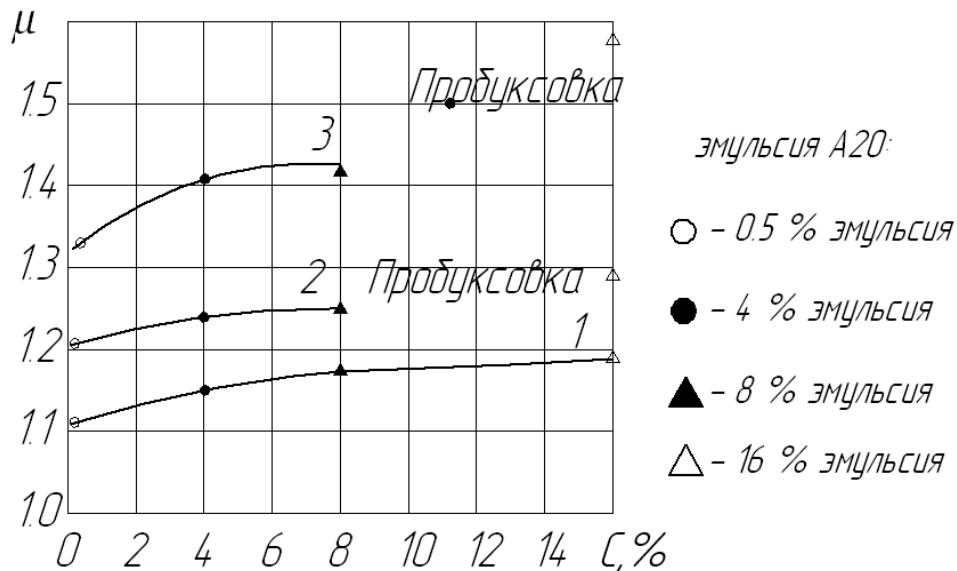


Рисунок 2.12 - Коефіцієнт витяжки при постійній установці валків у випадку холодної прокатки штаб з обтисненням 10%(1), 20%(2), 30%(3) заздалегідь промаслених емульсією A20

За спостережень також встановлено, що із збільшенням концентрації поверхнево активних компонентів в мастилі A20 (рис. 2.13, а) випередження, і показник γ/δ при холодному прокатуванні зменшуються. Закономірність зменшення вказаних параметрів прокатки із збільшенням концентрації емульсії зберігається як у області невеликих, так і вищих обтиснень (рис. 2.13) Стабільність процесу прокатки з мастилом емульсією 16% концентрації мастила A20 при обтисненні штаби 30% не робить помітного впливу на зниження (рис 2.13, а) і показник γ/δ . Практично це означає, що використання для промаслювання підкату емульсією високої концентрації неекономічна.

Задовільний збіг з розрахунковим по формулі (2.18) 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 обтиснення (рис. 2.13, б); застосування технологічного мастила з різною концентрацією поверхневоактивних компонентів дозволяє впливати на інтенсивність зміни (нахил прямих $p = f$

(P_ϕ) до осі абсцис зменшується).

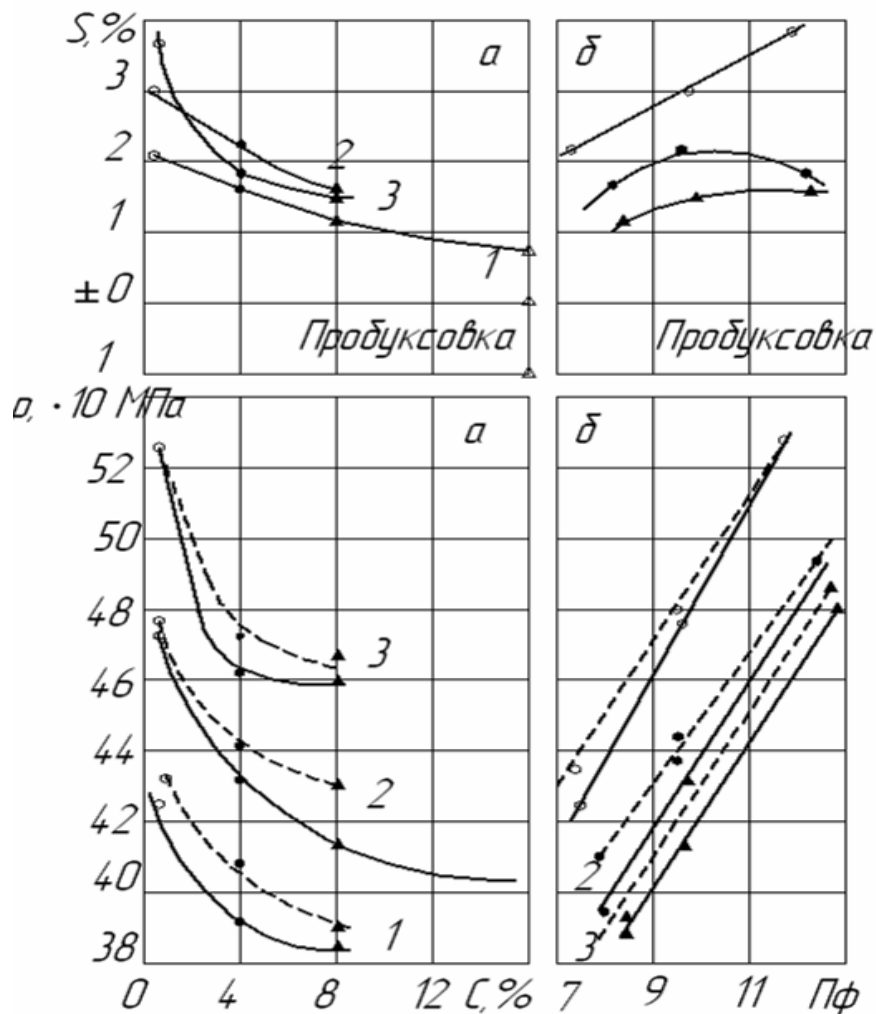


Рисунок 2.13 - Випередження і тиск –) і розрахунковий (- - -) залежності а – складу мастила; б – показника форми деформації. Позначення таке ж, що і на рис. 2.10.

2.3 Розрахунок режимів обтисків комбінату „Запоріжсталь”

Розрахунок режимів обтиснень проводимо на сталі 08ГСЮТ з 3,0 мм до 0,9 мм (сумарне обтиснення 70%). Визначаємо параметри процесу виходячи з режимів обтиснень [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 прокатки, МПа;

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

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

Розрахунок:

Абсолютне обтиснення, м:

$$\Delta h = h_{01} - h_1 \quad (2.19)$$

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

Відносне обтиснення %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% ; \quad (2.20)$$

$$\varepsilon = 35$$

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

$$l := \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (2.21)$$

$$l = 0,016$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя :

$$n^1_{\sigma} = \frac{2(1-\varepsilon) h_n}{\varepsilon(\delta-1) h_1} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad (2.22)$$

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

h_n – висота нейтрального перетину, м;

δ – коефіцієнт.

$$\frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1) \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}} ; \quad \frac{h_n}{h_1} = 1,157 \quad (2.23)$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}; \quad (2.24)$$

$$\delta = 2,469$$

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

$$p = n^1_{\sigma} 2\tau_s \quad (2.25)$$

$$p = 692,24$$

τ_s – контактна напруга, МПа;

$$\tau_s = 1.15 \frac{\sigma_{T0} + \sigma_{T1}}{2} \quad (2.26)$$

$$\tau_s = 273,47$$

σ_{T1} – межа текучості прокатки, МПа;

$$\sigma_{T1} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon)^{0,435} \quad (2.27)$$

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

Контактна площа, м²:

$$F = bl \quad (2.28)$$

$$F = 0,016$$

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

$$P = pF \quad (2.29)$$

$$P = 11,22$$

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

$$l_c = \sqrt{R\Delta h + x_2^2} + x_2 \quad (2.30)$$

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

Коефіцієнт δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{2\mu l_c}{\Delta h} \quad (2.31)$$

$$\delta_1 = 2,762$$

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_n = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_1-1} h_1^{\delta_1+1}} \quad (2.32)$$

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

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

$$p_1 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_1 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta_1-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_1 + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta_1+2} - 1 \right] \right\} \quad (2.24)$$

$$p_1 = 632,96$$

ξ_0 – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_1 – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{K_0} \quad (2.25)$$

$$\xi_0 = 0,971$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{K_1} \quad (2.26)$$

$$\xi_1 = 0,739$$

σ_1 – натягнення після першої кліти, МПа;

$$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{T1} \quad (2.27)$$

$$\sigma_1 = 195,36$$

K_0 – вимушена межа текучості до прокатки, МПа;

K_1 – вимушена межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_0 = 1,15 \sigma_{T0} \quad (2.28)$$

$$K_0 = 345$$

$$K_1 = 1,15 \sigma_{T1} \quad (2.29)$$

$$K_1 = 748,9$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h + x_{22}^2} + x_{22} \quad (2.30)$$

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

$$x_{22} = \frac{pR}{9500} \quad (2.31)$$

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

Коефіцієнт δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h} \quad (2.32)$$

$$\delta_2 = 2,736$$

Висота нейтрального перетину, м;

$$h_{n2} = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_2-1} h_1^{\delta_2+1}} \quad (2.33)$$

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

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

$$p_2 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_2 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_{n2}} \right)^{\delta_2-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_2 + 2} \left[\left(\frac{h_{n2}}{h_1} \right)^{\delta_2+2} - 1 \right] \right\} \quad (2.34)$$

$$p_2 = 630,98$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = l_{c2} b \quad (2.35)$$

$$F = 0,018$$

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

$$P = p_2 F_2 \quad (2.36)$$

$$P = 11,33$$

Момент прокатки, МНм;

$$M_{np} = 2P_2 \psi l_{c2} + R(\sigma_0 - \sigma_1) h_1 b \quad (2.37)$$

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

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

Нейтральний кут, радий;

$$\gamma_1 = \frac{1}{2R} \left[l_{c2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_0)h_1}{2\mu\varphi_2} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right] \quad (2.38)$$

$$\gamma_1 = 0,03$$

Випередження металу:

$$s_1 = \frac{R}{h_1} (\gamma_1)^2 \quad (2.39)$$

$$s_1 = 0,115$$

Момент тертя в підшипнику, МНм;

$$M_{mp1} = P_2 d \mu_1 \quad (2.40)$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

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

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

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм;

$$M_{mp2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np} + M_{mp1}) \quad (2.41)$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (2.42)$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпинделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

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

Момент на двигуні, МНм;

$$M_{\partial\partial} = M_{np} + M_{mp1} + M_{mp2} \quad (2.43)$$

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

Потужність двигуна, Вт;

$$N_{\partial\partial} = M_{\partial\partial} 10^6 \omega \quad (2.44)$$

ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (2.45)$$

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

$$N_{\text{дв}} = 1,618 \cdot 10^6$$

Аналогічно розраховуємо параметри у наступних клітках.

2.4 Проектувальний розрахунок режимів обтиснень

Розрахунок режимів обтиснень проводимо на сталі 08ГСЮТ з 3,0 мм до 0,9 мм (сумарний обтиск 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 прокатки, м;

$R = 0,25$ – радіус валків, м;

$b = 1$ – ширина штаби, м;

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

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

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

Розрахунок:

Абсолютне обтиснення, м:

$$\Delta h := h_0 - h_1 \quad (2.46)$$

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

Відносне обтиснення %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% ; \quad (2.47)$$

$$\varepsilon = 20$$

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

$$l := \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (2.48)$$

$$l = 0,012$$

Коефіцієнт що враховує вплив зовнішнього тертя :

$$n^1_{\sigma} = \frac{2(1-\varepsilon) h_n}{\varepsilon(\delta-1) h_1} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad (2.49)$$

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

h_n – висота нейтрального перетину, м;

δ – коефіцієнт;

$$\frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1) \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}}; \quad (2.50)$$

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

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}; \quad (2.51)$$

$$\delta = 3,266$$

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

$$p = n^1_{\sigma} 2\tau_s \quad (2.52)$$

$$p = 597,32$$

τ_s – контактна напруга, МПа;

$$\tau_s = 1.15 \frac{\sigma_{T0} + \sigma_{T1}}{2} \quad (2.53)$$

$$\tau_s = 251,657$$

σ_{T1} – межа текучості після прокатки, МПа;

$$\sigma_{T1} = \sigma_0 + 74,8(\varepsilon)^{0,435} \quad (2.54)$$

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

Контактна площа, м²:

$$F=bl \quad (2.55)$$

$$F = 0,012$$

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

$$P = pF \quad (2.56)$$

$$P = 7,316$$

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

$$l_c = \sqrt{R\Delta h + x_2^2} + x_2 \quad (2.57)$$

$$l_c=0,014$$

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

Коефіцієнт δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{2\mu l_c}{\Delta h} \quad (2.58)$$

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

Висота нейтрального перетину, м:

$$h_n = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_1-1} h_1^{\delta_1+1}} \quad (2.59)$$

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

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

$$p_1 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_1 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_n} \right)^{\delta_1-1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_1 + 2} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta_1+2} - 1 \right] \right\} \quad (2.60)$$

$$p_1 = 532,147$$

ξ_0 – коефіцієнт заднього натягнення;

ξ_1 – коефіцієнт переднього натягнення;

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{K_0} \quad (2.61)$$

$$\xi_0 = 0,971$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{K_1} \quad (2.62)$$

$$\xi_1 = 0,739$$

σ_1 – натягнення після першої кліті, МПа;

$$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{T1} \quad (2.63)$$

$$\sigma_1 = 172,598$$

K_0 – межа текучості до прокатки, МПа;

K_1 – межа текучості після прокатки, МПа;

$$K_0 = 1,15 \sigma_{T0} \quad (2.64)$$

$$K_0 = 349$$

$$K_1 = 1,15 \sigma_{T1} \quad (2.65)$$

$$K_1 = 661,627$$

Довжина дуги (з урахуванням пружної деформації валків);

$$l_{c2} = \sqrt{R\Delta h + x_{22}^2} + x_{22} \quad (2.66)$$

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

$$x_{22} = \frac{pR}{9500} \quad (2.67)$$

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

Коефіцієнт δ_2 :

$$\delta_2 = \frac{2\mu l_{c2}}{\Delta h} \quad (2.68)$$

$$\delta_2 = 3,66$$

Висота нейтрального перетину, м;

$$h_{n2} = \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1} h_0^{\delta_2-1} h_1^{\delta_2+1}} \quad (2.69)$$

$$h_{н2}=2,7 \cdot 10^{-3}$$

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

$$p_2 = \frac{2\tau_s}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta_2 - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_{н2}} \right)^{\delta_2 - 1} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta_2 + 2} \left[\left(\frac{h_{н2}}{h_1} \right)^{\delta_2 + 2} - 1 \right] \right\} \quad (2.70)$$

$$p_2 = 530,5$$

Контактна площа, м²:

$$F_2 = l_{c2} b \quad (2.71)$$

$$F = 0,014$$

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

$$P = p_2 F_2 \quad (2.72)$$

$$P = 7,283$$

Момент плющення, МНм;

$$M_{np} = 2P_2 \psi l_{c2} + R(\sigma_0 - \sigma_1) h_1 b \quad (2.73)$$

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

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

Нейтральний кут, рад;

$$\gamma_1 = \frac{1}{2R} \left[l_{c2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) h_1}{2\mu p_2} - \frac{\Delta h}{2\mu} \right] \quad (2.74)$$

$$\gamma_1 = 0,029$$

Випередження металу;

$$s_1 = \frac{R}{h_1} (\gamma_1)^2 \quad (2.75)$$

$$s_1 = 0,089$$

Момент тертя в підшипнику, МНм;

$$M_{мп1} = P_2 d \mu_1 \quad (2.76)$$

$d = 0,28$ – діаметр цапф, м;

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

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

Момент тертя в передавальному механізмі, МНм;

$$M_{mp2} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) (M_{np} + M_{mp1}) \quad (2.77)$$

η – коефіцієнт корисної дії передавального механізму;

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (2.78)$$

η_1 – коефіцієнт корисної дії шпинделя;

η_2 – коефіцієнт корисної дії передачі;

η_3 – коефіцієнт корисної дії шестерінчастої кліті;

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

Момент на двигуні, МНм;

$$M_{\partial\partial} = M_{np} + M_{mp1} + M_{mp2} \quad (2.79)$$

$$M_{\partial\partial} = 0,103$$

Потужність двигуна, Вт;

$$N_{\partial\partial} = M_{\partial\partial} 10^6 \omega \quad (2.80)$$

ω – кутова швидкість, рад/с;

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (2.81)$$

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

$$N_{\partial\partial} = 1,393 \cdot 10^6$$

2.5 Обробка та обговорення результатів

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

Таблиця 2.7 - Режими обтиснень

№	Величина	№ кліті	Режими обтиснень заводу «Запоріжсталь»	Режими обтиснень за новою технологією
1	2	3	4	5
1	$\varepsilon, \%$	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	$h, \text{мм}$	1	1,9	2,4
		2	1,37	1,17
		3	1,03	1,03
		4	0,9	0,9
4	$\Delta h, \text{мм}$	1	1,10	0,6
		2	0,53	0,72
		3	0,35	0,5
		4	0,12	0,276
5	$\sigma_{T1}, \text{МПа}$	1	651,213	575,33
		2	728,03	687,98
		3	761,863	746,58
		4	775,252	775,252
6	$P, \text{МН}$	1	12,258	11,075
		2	12,256	11,1
		3	11,308	12,534
		4	11,883	12,438
7	$M_{np}, \text{Мнм}$	1	0,109	0,108
		2	0,166	0,15
		3	0,123	0,159
		4	0,101	0,136
8	$M_{об}, \text{Мнм}$	1	0,13	0,103
		2	0,194	0,176
		3	0,146	0,186
		4	0,123	0,162
9	$V, \text{м/с}$	1	3,1	3,38
		2	4,2	4,83
		3	5,6	6,9
		4	6,5	9
10	$N_{об}, \text{Вт}$	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	$3,189 \cdot 10^6$	$5,819 \cdot 10^6$

2.6 Аналіз перерахунку обтиснень

Перерахунок обтиснень проводився з метою, мінімізувати витрати по переділу, отримання штаби високої якості на основі вищевикладених фактів. У зв'язку з цим проведено зміну розподілу приватних обтиснень по клітях (додаток А).

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

За новою технологією двигун першої кліті працює з значним недовантаженням (додаток Г) в наслідок зниження обтиснення в першій кліті при малому значенні натягненні перед першою кліттю (створюваного проводкою пресу).

Для підвищення продуктивності стану необхідно збільшити швидкість прокатки (додаток Є).

2.7 Аналіз продуктивності стану

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

Хронометражем визначено час циклу прокатки 15т рулону з 3 мм до 0,9 мм 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, прокатка зварного шва, часу розгону стану.

$$t_{\text{пр1}}^c = 329 \text{ с.}$$

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

$$t_{\text{пр}}^H = 295 \text{ с.}$$

Час циклу прокатки рулону за новою технологією:

$$t_{\text{пр}}^{\text{H}} = (t_{\text{пр}}^{\text{c}} - t_{\text{пр1}}^{\text{c}}) + t_{\text{пр}}^{\text{H}} \quad (2.82)$$

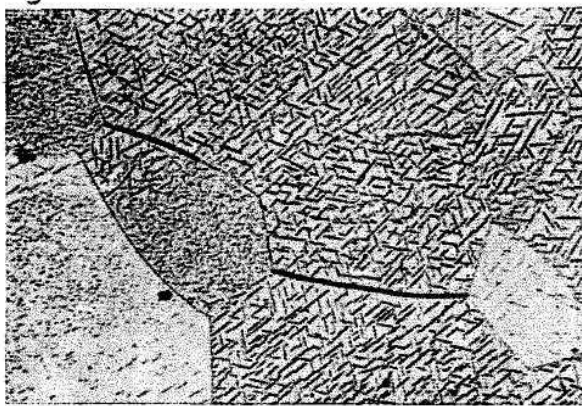
$$t_{\text{пр}}^{\text{H}} = 436 \text{ с.}$$

Продуктивність за новою технологією:

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

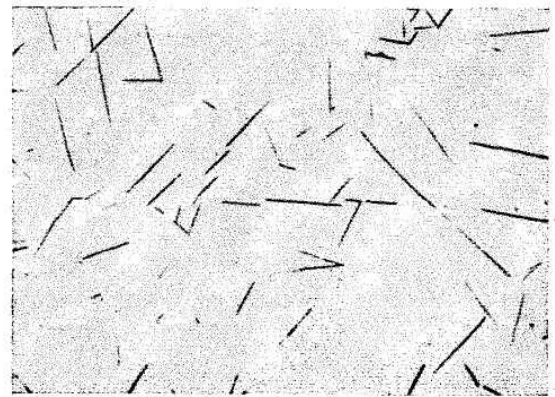
3 СТРУКТУРА ДОСЛІДЖУВАЛЬНИХ МЕТАЛІВ

При низьких температурах старіння (до 200°C виділяється метастабільний об'ємноцентрований тетрагон нітриду α'' Fe₈N (рис. 3.1); 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. 3.2). Розчинність азоту у фериті при метастабільній рівновазі з α'' - нітриду більше, ніж при стабільній рівновазі з γ' - нітридом.



x 500

Рисунок 3.1 - до 200°C виділяється метастабільний об'ємноцентрований тетрагон нітриду α'' Fe₈N



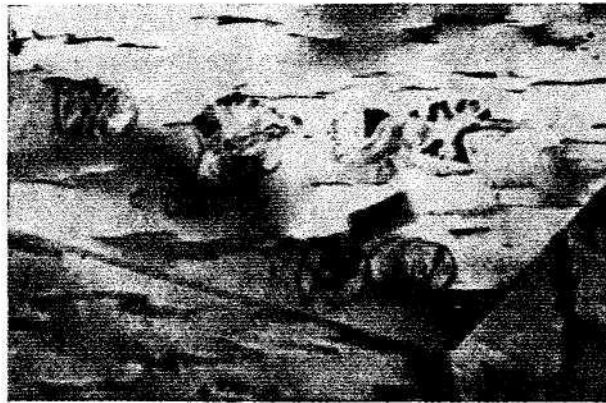
x 500

Рисунок 3.2 - вище за 300°C виділяється тільки - γ' - нітрид

Щоб проілюструвати виділення обох фаз, було використане знеуглецьоване залізо, в якому був розчинений азот. Зразки готували таким чином. Холоднокатаний лист чистого заліза завтовшки 0,1 мм відпалювали при 950°C і далі знеуглецьовували і дезертиривали 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 вмісту азоту приблизно 0,1%, гартували у воді і відразу після цього піддавали старінню при 175, 200 і 300° C.

Розвиток виділення нітриду показаний на мікрофотографіях. Після відпалу при 175°C α'' - нітрид з'являється у вигляді коротких стрижнів (рис. 3.1). Після відпалу при 300°C - нітрид має вид довгих голок (рис. 3.2). Обидва види нітридних частинок мають переважне орієнтування, причому в різних зернах фериту орієнтації різні. На мікрофотографії (рис. 3.3) показані виділення α'' - нітриду 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'' - нітриду розташовані майже паралельно площині фольги, а інші перпендикулярні їй так, що вони видно, як довгі тонкі смужки.



х 20000

Рисисунок 3.3 - Виділення α'' - нітриду в тонкій фользі (завтовшки близько $0,0001$ мм)

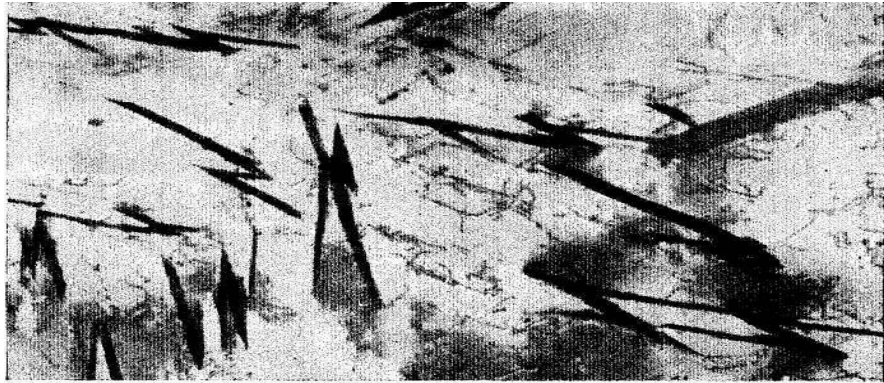
Орієнтаційне співвідношення між пластинками α'' - нітриду і феритом може бути описано таким чином:

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

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

Габітусна площість - $\{100\}_{\alpha}$.

γ' - нітрид утворюється також у вигляді пластинок, які часто перетинають один одного під гострими кутами, як це показано на мікрофотографії (рис. 3.4, а): тут пластинки γ' - нітриду перпендикулярні до поверхні фольги. На електронній мікрофотографії вони здаються темними. Тонка структура фериту пов'язана з дефектами ґрат. На мікрофотографії (рис.3.4, б) показана пластинка γ' - нітриду в екстракційній репліці. Темні смужки є, ймовірно, сходинками в пластинках нітриду, 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' - нітриду виділяються майже паралельно до $\{012\}_\alpha$, причому габитусною площиною в γ' - нітриді є $\{112\}$.



x 20000



x 40000

Рисунок 3.4 - Утворення γ' - нітриду у вигляді пластинок

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

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

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

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

Відманштетова структура фериту

У низьковуглецевих сталях за певних умов утворюється структура, в якій доєвтектоїдний ферит виділяється у вигляді пластинок. На мікрофотографіях ці пластинки при перетині площиною шліфа здаються голками. Між ними знаходиться перліт (рис. 3.5). Таке розташування фериту було названо Беляєвим Відманштеттової структури на честь А. Відманштетта, що виявив її в метеоритах.



x 100

Рисунок 3.5 - Структура, в якій доєвтектоїдний 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 зростати від окремих зерен фериту або виникає усередині аустенітного зерна. Аустеніт, який збагачений вуглецем, перетворюється цілком або частково на перліт.

Область, в якій утворюється пластинчастий ферит, на термокінетичній діаграмі (рис. 3.6) 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 голчастого фериту у Відманштеттовій структурі відбуваються по здвиговому механізмі і що голки зростають так само, як при бейнітному перетворенні.

Голки фериту у Відманштеттовій 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. 3.7). Голчаста обумовлена тим, що між пластинками, що зростають, зберігається аустеніт, збагачений вуглецем, який перетворюється переважно на перліт. У центральній частині мікрофотографії (рис. 3.7) справа можна бачити, що існує межа між перлітним і голчастим феритом. Це обумовлено тим, що орієнтаційне співвідношення між перлітним феритом і аустенітом інше.

Відманштеттова феритна структура виражена особливо чітко, якщо є крупні аустенітні зерна і використовуються високі швидкості охолодження. При дрібних зернах аустеніту і малих швидкостях охолодження в структурі полігональних зерен фериту і перліту утворюються тільки ізольовані голки фериту (рис. 3.8). З підвищенням швидкості охолодження кількість голчастого фериту збільшується (рис. 3.9). Якщо перетворення не завершене в перлітній області, то воно продовжується в бейнітній. Залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит (рис. 3.10).

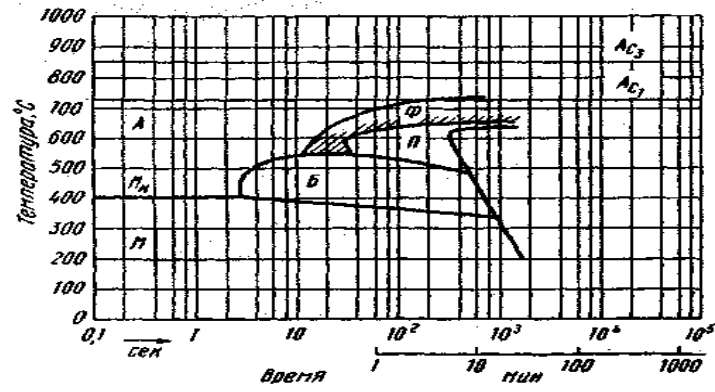
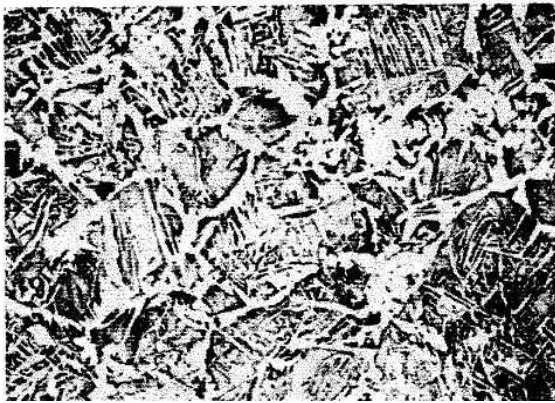
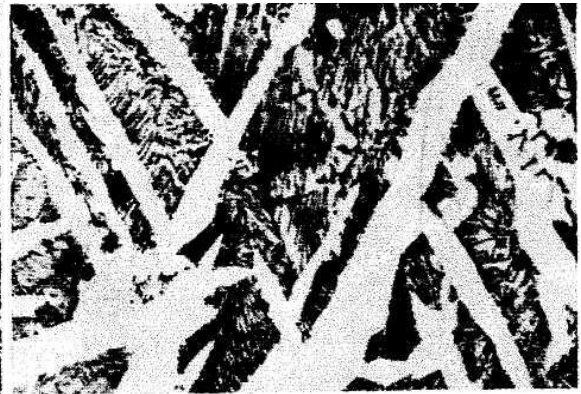


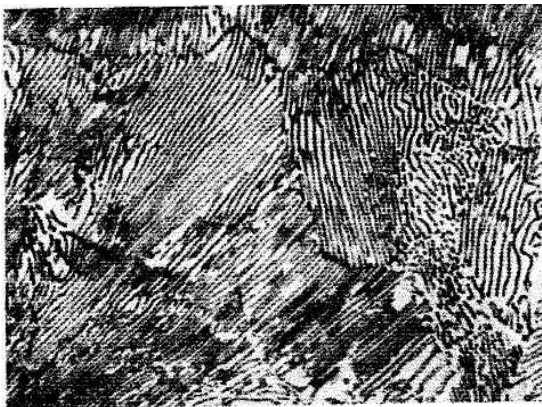
Рисунок 3.6 - Термокинетична діаграма сталі після аустенізації при 1050°C протягом 20 хв



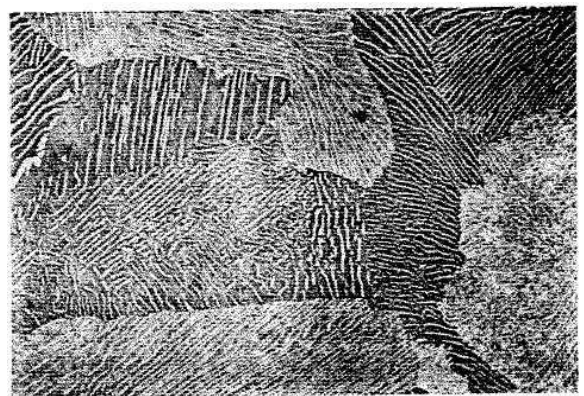
x 100



x 1500



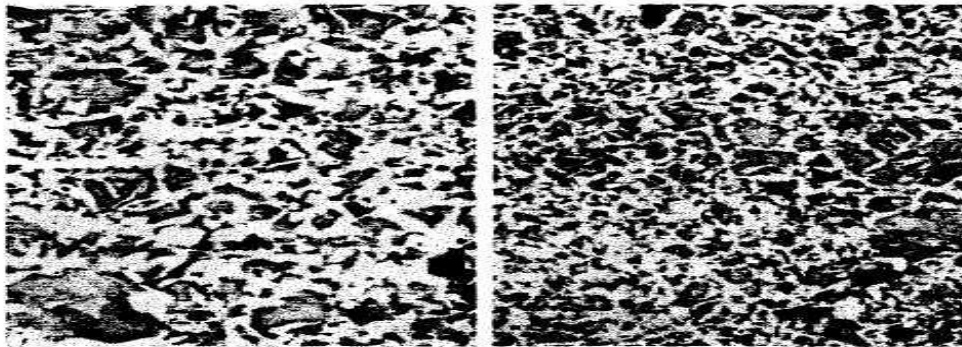
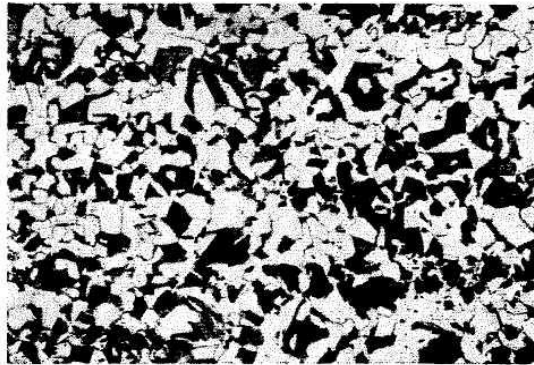
x 1500



x 1800

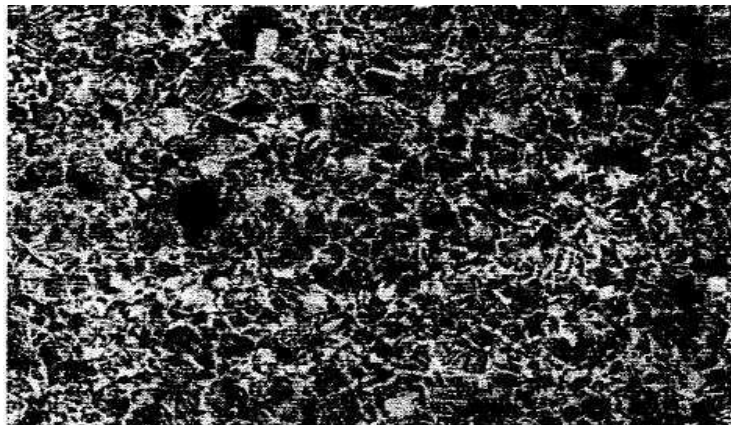
Рисунок 3.7 - Відманштеттова феритна структура при використанні високої швидкості охолодження

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 трується сильніше; можливе це пов'язано з тим, що цементит в результаті збагачення аустеніту вуглецем поблизу між фазної межі мається в своєму розпорядженні щільніше.



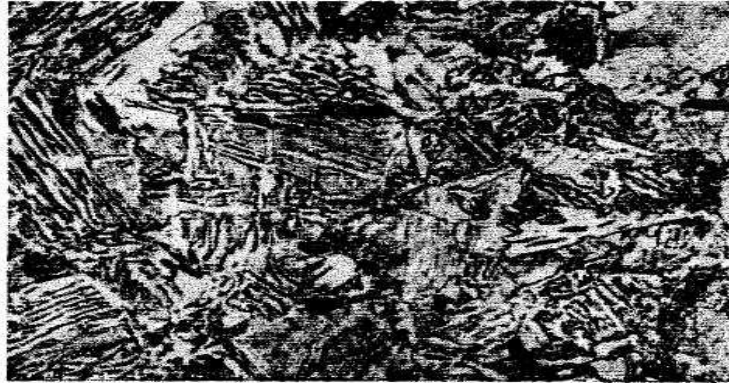
x 100

Рисунок 3.8 - Відманштеттова феритна структура при малих швидкостях охолодження



x 100

Рисунок 3.9 - Підвищення швидкості охолодження



x 500

Рисунок 3.10 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. 3.10,в). При вмісті в сталі вуглецю 0,8% перліт складається з 87% фериту і 13% цементиту. Отже, пластини фериту в сім разів ширше, ніж пластини цементиту. Якщо перліт утворюється в сталі з вмістом 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 відносно збільшення кількості фериту і ширини феритних пластинок.

Окремі зерна перліту розрізняються по орієнтації феритної матриці і напрямку цементитних пластинок. Це краще видно на знімку репліки (рис. 3.10,г), чим на оптичній мікрфотографії (рис. 3.10,в), оскільки різниця висот неоднаково протравленої феритної матриці додає перлітним зернам різну контрастність.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Заходи щодо техніки безпеки

На ділянках стану основними потенційно небезпечними виробничими факторами є: пересування електромостових кранів і транспортерного візка з вантажем або без нього, що обертаються частини механізмів клітей, рух штаби по лінії стану.

Пересування по території стану дозволяється тільки по встановленим переходам, перехідним місткам. При пересуванні або виконанні робіт, працюючі повинні бути уважні до сигналів електромостових кранів, до роботи світлової сигналізації, не перебувати під піднятим вантажем і на шляху руху транспорту.

Працюючому на стані необхідно:

- прийняти та здати зміну на робочому місці й доповісти старшому майстрові;
- працювати в чистому, справному і правильно одягненому спецодягу й спецвзутті, покладеному по нормах для кожної професії;
- користуватися відповідними засобами захисту й запобіжних пристосувань;
- виконувати доручену роботу з дотриманням всіх вимог інструкції з техніки безпеки та промислової санітарії;
- виконувати вказівки бригадира та майстра;
- виконувати вимоги попереджувальних написів і плакатів ТБ;
- не приступати до роботи, якщо умови її виконання суперечать інструкції з техніки безпеки або іншому документу, що регламентує безпечне ведення робіт, а також без інструктажу з техніки безпеки при тимчасовому перекладі на іншу роботу;
- під час роботи бути уважним, не відволікатися й не відволікати інших;

- не допускати на робоче місце осіб, що не має відносини до роботи;
- виконувати правила пожежної безпеки, промислової санітарії й особистої гігієни;
- не залишатися байдужим до порушень інструкцій іншими робітниками
- цим кожний охоронить себе й інших від нещасних випадків.

При одержанні навіть незначної травми негайно звернутися в медпункт і сповістити про це майстрові, а при його відсутності - бригадиру, старшому робітникові або товаришеві по роботі, надати першу медичну допомогу потерпілому.

При виявленні порушень, які можуть привести до аварій або нещасних випадків, негайно припинити роботу й сповістити про це майстрові або бригадирові.

Працюючої на стані забороняється:

- працювати на механізмах, що не має огороження обертових частин;
- обслуговувати на ходу й доторкатися до обертових частин механізмів;
- заходити за огороження частин, що рухаються, механізмів;
- доторкатися до електропроводів, рубильникам і моторам щоб уникнути поразки електричним струмом;
- виконувати роботу в місцях, де немає габариту.

4.2 Заходи щодо виробничої санітарії і гігієни праці

Роботи на стані пов'язані з рядом шкідливих виробничих факторів. На ділянці прокатного стану - шум при роботі клітей, моталок, розмотувачів і інших механізмів, пари емульсії.

Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха, біруши і проти галасливі навушники.

Метеорологічні умови в цеху характеризуються атмосферним тиском, температурою, вологістю, швидкістю руху повітря і інтенсивного теплового випромінювання.

Відносну вологість повітря приймають в межах 35 - 60 % при температурі 18 - 20 °С, рух повітря повинен складати 0,1 – 0,2 м/с при виконанні фізичної роботи температура повинна бути приблизно від 14 до 17 °С.

Загалом температура в цеху повинна бути не більше ніж на 5 °С вище температури зовнішнього повітря і не повинна перевищувати 28 °С.

У холодну пору року вологість не повинна перевищувати 75%, в літній час - 60%.

У зимовий період часу швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,2 - 0,3 м/с, в літній час допускається від 0,3 до 1 м/с.

Для створення нормальних метеорологічних умов необхідно зменшувати тепловиділення, застосування аерації цеху, застосування припливної обдувної вентиляції, застосування індивідуальних засобів захисту.

Санітарно-побутові приміщення спроектовані відповідно до вимог СНіП П-92-76 «Допоміжні будівлі і приміщення промислових підприємств». Склад, устаткування і пристрій санітарно-побутових приміщень відповідає кількості тих, що працюють в саму багатозмінну зміну.

4.3 Заходи щодо пожежної безпеки

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту й заходами організаційного характеру.

До основних умов попередження пожежі ставляться: запобігання утворення горючого середовища і появи джерел запалювання.

Пожежний захист забезпечується застосуванням негорючих або важко горючих речовин, обмеженням кількості горючих речовин і ізоляцією горючого середовища, а також запобіганням поширення пожежі, застосуванням ефективних засобів пожежогасіння, організацією безперебійної евакуації людей, застосуванням засобів сигналізації і зв'язку та організацією пожежної охорони.

До організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки ставляться: пожежна охорона об'єкта, розробка й здійснення правил і норм пожежної безпеки. Правил дотримання протипожежного режиму та установлених заходів щодо ліквідації виниклої пожежі.

Пожежі і вибухи відбуваються внаслідок наступних основних причин:

- 1) порушення нормального режиму технологічного процесу;
- 2) неполадки в роботі пристроїв для очищення, транспортування та споживання газу;
- 3) неправильна експлуатація електромереж і електроустаткування;
- 4) порушення елементарних вимог пожежної охорони.

Головну пожежну небезпеку представляють вибухи газу. Для нього характерно те, що він, на відміну від звичайних пожеж становить безпосередню небезпеку для життя працюючих. Цей процес виникає раптово й протікає настільки швидко, що робітники не встигають покинути робочі місця.

Можливість звичайних пожеж невелика, оскільки всі елементи будівель виконані з матеріалів, що не горять.

Системи опалення проектують і експлуатують із дотриманням відповідних мір пожежної безпеки.

Як опалювальні пристрої на підприємствах застосовують центральне (водяне, парове опалення), а також газове й електричне опалення.

Застосування відкритого вогню в приміщеннях збільшує пожежну небезпеку.

При застосуванні електричного опалення можливі перегрів і запалення ізоляції проводки і виникнення короткого замикання, що може спричинити пожежу.

До найбільш імовірних причин перегріву проводів ставляться нагрівання проводів при проходженні струму надмірно великої величини та при виникненні більших місцевих опорів внаслідок неправильного пристрою електроустановок.

Для запобігання загоряння ізоляції й короткого замикання проводів застосовують плавкі запобіжники або спеціальні автомати, що відключають мережу при перевантаженні.

Електрична дуга, що має температуру вище 300 °С, представляє більшу пожежонебезпеку. Тому конструкція й режим експлуатації повинні виключати утворення електричної дуги. Якщо утворення електричної дуги пов'язане з режимом експлуатації, у таких випадках застосовують додаткові пружні ножі для рубильників і дугогасильного пристрою у вигляді посудин, заповнюваних трансформаторним маслом.

Особливої уваги заслуговує виконання вогнебезпечних робіт. Тимчасові вогнебезпечні роботи допускається робити по письмовому дозволі адміністрації із вказівкою умов безпечного виконання таких робіт. Це положення ставиться до електро- і газозварювальних робіт, до промивання деталей при ремонті встаткування горючими розчинниками.

До основних засобів гасіння пожеж відносять: воду, водні емульсії галоїдированих вуглеводнів, водяна пара, повітряно-механічну й хімічну піну, інертні гази, вуглекислоту, стиснене повітря.

4.4 Заходи щодо забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях

Серед захисних заходів цивільної оборони, здійснюваних завчасно, особливо важливе місце займає організація оповіщення органів цивільної оборони, формувань і населення про погрозу нападу супротивника і про

застосування їм ядерної, хімічної і бактеріологічної зброї та інших сучасних засобів нападу. Тому захист населення від зброї масової поразки буде залежати від добре організованої системи оповіщення. Всі сигнали цивільної оборони в цеху передаються по каналах зв'язку і радіотрансляційних мереж, а також через місцеві радіомовні станції.

Для попередження робітників та службовців підприємства встановлені наступні сигнали:

- «увага всім»;
- «повітряна тривога»;
- «відбій повітряної тривоги»;
- «радіаційна небезпека»;
- «хімічна тривога».

Сигнал «Увага всім» подається для всього населення завчасно до подачі кожного з нижчеописаних сигналів. Це необхідно для того, щоб підготувати людей до сприйняття подальших сигналів, повідомлень або вказівок. По радіотрансляційній мережі передається текст «Увага всім!».

Сигнал «повітряна тривога» подається для всього населення. По радіотрансляційній мережі передається текст: «Увага! Увага! Громадяни! Повітряна тривога!». Одночасно із цим сигнал дублюється звуком сирен, гудками заводів і транспортних засобів. Тривалість сигналів 2 - 3 хвилини. У цьому випадку робочі цехи припиняють роботу й виконують всі заходи, передбачені спеціальною інструкцією підприємства, і, дотримуючи встановленого порядку, ідуть у притулок (укриття), закріплене за цехом на даному підприємстві.

Сигнал «відбій повітряної тривоги» передається органами цивільної оборони по радіотрансляційній мережі, через місцеве радіо й телевізійну станцію й інші способи, які можна використати в конкретній обстановці (телефон, гучномовні установки). Передається текст: «Увага! Увага! Відбій повітряної тривоги!». По цьому сигналі робочі цехи вертаються до робочих місць із укриттів і приступають до роботи.

Сигнал «радіаційна небезпека» подається в населених пунктах, у напрямку до яких рухається радіоактивна хмара, що утворилася при вибуху ядерних боєприпасів. Сигнал «радіаційна небезпека» подається за допомогою всіх місцевих технічних засобів зв'язку й оповіщення, а на місцях дублюється звуковими й світловими засобами. По цьому сигналі робітники надягають респіратор, проти пильну тихорецьку маску, ватно-марлеву пов'язку або протигаз, комплекти яких передбачені на даному підприємстві, а також беруть індивідуальні засоби захисту, предмети першої необхідності й ідуть у притулок.

Сигнал «хімічна тривога» подається при погрозі або безпосереднім виявленні хімічного або бактеріологічного зараження, з допомогу. Технічних засобів зв'язку. На місцях він дублюється звуковими й світловими засобами.

Далі робітники виконують заходи, передбачені спеціальною інструкцією підприємства. Про те, що небезпека хімічного або бактеріологічного зараження минула й про порядок подальших дій розпорядження надійде по тих же каналах зв'язку, що й сигнал оповіщення.

У такий спосіб всі заходи, розроблені в даній главі, спрямовані на підвищення культури виробництва й забезпечення нешкідливих умов праці та безпеки людей у надзвичайних ситуаціях.

5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ

5.1 Розрахунок річної виробничої програми прокатного стану

Розрахунок виробничої програми прокатного стану проводиться за заводськими даними і за проектом.

Опишемо номінальний час роботи прокатного стану $NB \text{ діб.б} = KB - KP - ППР$

Де NB – номінальний час роботи стану, KP – календарний час роботи стану, $ППР$ – тривалість планово-запобіжних ремонтів, KP – капітальний ремонт.

Таблиця 5.1. Початкові дані для розрахунку

Календарний час	365 діб
Тривалість капітального ремонту	7 діб
Тривалість ППР	23 діб
Поточні простой	10 %
Відсоток прокату марки стали на стані	57 %
Годинна продуктивність стану	190 т/год
Середнечасова продуктивність	116 т/год

$$NB_{\text{діб.б}} = 365 - 7 - 23 = 335 \text{ діб}$$

Номінальний час в годиннику

$$NB_{\text{час.б}} = NB \text{ діб} \times 24$$

$$NB_{\text{час.б}} = 335 \times 24 = 8040 \text{ ч}$$

Визначаємо поточний простій в годиннику

$$TP_{\text{час.б}} = (NB_{\text{час}} \times \%TP) / 100\%$$

$$TP_{\text{час.б}} = (8040 \times 10) / 100\% = 804 \text{ год}$$

Визначаємо фактичний час роботи прокатного стану по марці стали

$$\Phi_{ВМ} = (ВФ \times \% \Phi_{ВМ}) / 100\%$$

$$\Phi_{ВМ} = (7236 \times 57) / 100\% = 4124,52 \text{ год}$$

Визначаємо річний об'єм виробництва прокату

$$V_{б} = П_{ср.ч} \times \Phi_{В}$$

$$V_{б} = 116 \times 7236 = 839376 \text{ т}$$

Визначаємо річний об'єм виробництва прокату по марці стали

$$V_{б.м} = П_{час.б} \times \Phi_{ВМ}$$

$$V_{б.м} = 190 \times 4124,52 = 783658,8 \text{ т}$$

5.2 Розрахунок виробничої програми за проектом

Визначаємо поточний простій за проектом

$$T_{Ппр} = T_{П} - T_{Ппр}$$

$T_{Ппр}$ – кількість годинника на яке скорочується поточні простої (на 48 годин)

$$T_{Ппр} = 804 - 48 = 756 \text{ ч}$$

Визначаємо фактичний час за проектом

$$\Phi_{Впр} = НВ - T_{Ппр}$$

$$В_{Фпр} = 8040 - 756 = 7284 \text{ ч}$$

Визначаємо фактичний час за проектом по марці стали

$$\Phi_{Впр.м} = (\Phi_{Впр} \times \% \Phi_{ВМ})$$

$$\Phi_{Впр.м} = (7284 \times 57) / 100\% = 4151,88 \text{ ч}$$

Оскільки за завданням дипломного проекту середньочасова продуктивність підвищується 1,5% те $П_{ср.ч.} = 117,74 \text{ т}$

Визначаємо річний об'єм виробництва за проектом

$$V_{пр} = П_{ср.ч.м} \times \Phi_{Впр}$$

$$V_{пр} = П_{ср.ч.м} = 117,74 \times 7284 = 857618,16 \text{ т}$$

Визначаємо річний об'єм виробництва за проектом по марці стали

$$V_{пр.м} = П_{ср.ч.м} \times \Phi_{Впр.м}$$

$$V_{\text{пр.м}} = 192,85 \times 4151,88 = 800690,058 \text{ т}$$

Визначаємо коефіцієнт зростання об'єму виробництва

$$K_p = V_{\text{пр}} / V_{\text{б}}$$

$$K_p = 857,3268 / 839376 = 1,021385887$$

Визначаємо коефіцієнт об'єму зростання виробництва по марці стали

$$K_{p.m} = V_{m'} / V_{\text{б.м}}$$

$$K_{p.m} = 800670,058 / 783658,8 = 1,021733002$$

Із збільшенням фактичного часу роботи стану, знизилася поточна простоя і збільшилася годинна і середньочасова продуктивність.

Зниження поточних простоїв

$$\Phi_{\text{в}} = \Phi_{\text{в.пр}} - \Phi_{\text{в.б}}$$

$$\Phi_{\text{в}} = 7284 - 7236 = 48 \text{ годин}$$

$$V_{\text{фв}} = P_{\text{час.б}} \times \Phi_{\text{в}}$$

$$V_{\text{фв}} = 116 \times 48 = 5568 \text{ т}$$

Зокрема по марці стали

$$\Phi_{\text{в.м}} = \Phi_{\text{в.пр.м}} - \Phi_{\text{в.б.м}}$$

$$\Phi_{\text{в.м}} = 4151,88 - 4124,52 = 27,36 \text{ ч}$$

$$V_{\text{фв.м}} = P_{\text{час.м}} \times \Phi_{\text{в.м}}$$

$$V_{\text{фв.м}} = 190 \times 27,36 = 5198,4 \text{ т}$$

Підвищення годинної продуктивності

$$P_{\text{ср.ч}} = P_{\text{ср.ч.пр}} - P_{\text{ср.ч.б}}$$

$$P_{\text{ср.ч}} = 117,74 - 116 = 1,74 \text{ т}$$

$$V_{\text{ср.ч}} = P_{\text{час.б}} \times \Phi_{\text{в.пр}}$$

$$V_{\text{ср.ч}} = 1,74 \times 7284 = 12674,16 \text{ т}$$

Зокрема по марці стали

$$P_{\text{ср.ч.м}} = P_{\text{ср.ч.м.пр}} - P_{\text{ср.ч.б.м}}$$

$$P_{\text{ср.ч.м}} = 192,85 - 190 = 2,85 \text{ т}$$

$$V_{\text{ср.ч.м}} = P_{\text{ср.ч.пр.м}} \times \Phi_{\text{в.пр.м}}$$

$$V_{\text{ср.ч.м}} = 2,85 \times 4151,88 = 11832,858 \text{ т}$$

Перевірка

$$V_{\text{пр}} - V_{\text{б}} = V_{\text{фв}} + V_{\text{п.час}}$$

$$857618,16 - 839376 = 5568 + 12674,16$$

$$18242,16 = 18242,16$$

$$V_{\text{пр.м}} - V_{\text{б.м}} = V_{\text{фв.м}} + V_{\text{п.час.м}}$$

$$800690,058 - 783658,8 = 5198,4 + 11832,858$$

$$17031,258 = 17031,258$$

Таблиця 5.2 - Річна виробнича програма прокатного стану.

Найменування	Ед.в им	Показники		Всього	Відхилення	
		б	пр		За рахунок зб.ФВ	За рахунок зростання Пср.ч
Номінальне час	діб	335	335			
Тривалість ППР	діб	23	23			
Поточні простои	год	804	756	48		
Фактичне час роботи	год	7236	7284	48		
По марці стали	год	4124,52	4151,88	27,36		
Середньочасо ва продук - ть	т/ год	116	117,74	1,74		
Годинна продук - ть	т/ год	190	192,85	2,85		
Річний об'єм	Т	839376	857618,16	18242,16	5568	12674,16
Річний об'єм по марці	Т	783658,8	800690,058	17031,25	5198,4	11832,858

5.3 Розрахунок собівартості 1 тонни прокату

Розрахунок собівартості проводимо для виробництва 1 тонни прокату за даними підприємства і за проектом.

Розрахунок заданого за початковими даними для виробництва 1т прокату необхідно 1,096т підкату за ціною 9200,91 грн за 1т

В результаті нагріву металу і раціонального використання металу зменшилися відходи металу на 0,002 кг

Розрахунок виконуємо табличним методом

Таблиця 5.3. Розрахунок заданого

Найменування	По вих. даним			За проектом			Відхилення, грн
	К-ть, т	Ціна, грн	Сума, грн	К-ть, т	Ціна, грн	Сума, грн	
Задано підкат	1,096	920,91	1009,32	1,094	920,91	1007,48	1,84

Таблиця 5.4. Розрахунок відходів

Найменування	По вих. даним			За проектом			Відхилення, грн
	К-ть, т	Ціна, грн	Сума, грн	К-ть, т	Ціна, грн	Сума, грн	
Обрізь	0,071	230	16,33	0,07	230	16,10	0,23
Некондиція	0,14	520	7028	0,013	520	6,76	0,52
Чад	0,011	-	-	0,011	-	-	-
РАЗОМ	0,096	-	23,61	0,094	-	22,86	0,75

На підставі проведених розрахунків визначаємо суму заданого за вирахуванням відходів.

Таблиця 5.5. Розрахунок заданого за вирахуванням відходів

Найменування	По вих. даним		За проектом		Відхилення, грн
	К-ть, т	Сума, грн	К-ть, т	Сума, грн	
Задано підкат	1,096	10090,32	1,094	10070,48	184
Відходи	0,096	230,61	0,094	220,86	75
Задано за вирахуванням відходів	1	9850,71	1	9840,62	10,09

5.4 Розрахунок витрат по переділу

Для початкових даних беремо витрати по переділу із заводської калькуляції собівартості 1 тонни прокату, оскільки по переділу річний об'єм виробництва збільшився, за собівартістю 1 тонну прокату зменшиться за рахунок зменшення умовно-постійної частини витрат по переділу. Відсоток розподілу витрат на умовно-постійні і умовно-змінні беремо за даними завод.

Таблиця 5.6. Відсоток розподілу витрат на умовно-постійні і умовно-змінні

Статті витрат	Умовно-змінні %	Умовно-постійні %
Паливо технологічне	60	40
Енерговитрати	90	10
Ел. енергія	35	65
Вода	35	65
Пара	60	40
Стисле повітря	60	40
Дод. матеріали	85	15
Зарплата дод. робочим	70	30
Відрахування на зарплату	75	25
Інвентар	85	15
Зміст осн. засобів	15	85
Поточний ремонт	15	85
Транспортні витрати	70	30
Амортизація	-	100
Інші витрати	15	85
Загальновиробничі витрати	-	100

Розрахуємо зміну витрат по переділу, пов'язані із зростанням об'єму виробництва:

$$З_{пр} = З_{фхДпер} + З_{фхДпост}/Кр$$

де $З_{ф}$ – витрати по кожній статті за проектом і за фактичними даними, грн

$Кр$ – коефіцієнт зростання об'єму виробництва по марці стали.

Витрати на паливо:

$$З_{пр} = 11,44 \times 0,6 + 11,44 \times 0,4 / 1,058 = 11,19 \text{ грн}$$

Витрати на ел. енергію

$$З_{пр} = 14,80 \times 0,9 + 14,80 \times 0,1 / 1,058 = 14,72 \text{ грн}$$

Витрати на воду

$$З_{пр} = 2,11 \times 0,35 + 2,11 \times 0,65 / 1,058 = 2,03 \text{ грн}$$

Витрати на пару

$$З_{пр} = 3,33 \times 0,6 + 3,33 \times 0,4 / 1,058 = 3,26 \text{ грн}$$

Витрати на стисле повітря

$$З_{пр} = 2,68 \times 0,6 + 2,68 \times 0,4 / 1,058 = 2,62 \text{ грн}$$

Витрати на допоміжні матеріали

$$З_{пр} = 28,17 \times 0,85 + 28,17 \times 0,15 / 1,058 = 27,94 \text{ грн}$$

Витрати на зарплату виробничих робочих

$$З_{пр} = 8,93 \times 0,7 + 8,93 \times 0,3 / 1,058 = 8,78 \text{ грн}$$

Витрати на відрахування на зарплату

$$З_{пр} = 0,03 \times 0,75 + 0,03 \times 0,75 / 1,058 = 0,03 \text{ грн}$$

Витрати на змінне устаткування

$$З_{пр} = 10,11 \times 0,85 + 10,11 \times 0,15 / 1,058 = 10,03 \text{ грн}$$

Витрати на поточний ремонт

$$З_{пр} = 10,92 \times 0,15 + 10,92 \times 0,85 / 1,058 = 10,41 \text{ грн}$$

Витрати на транспортні витрати

$$З_{пр} = 0,55 \times 0,7 + 0,55 \times 0,3 / 1,058 = 0,54 \text{ грн}$$

Витрати на амортизаційні відрахування

$$З_{пр} = 6,59 \times 1 / 1,058 = 6,23 \text{ грн}$$

Витрати на інші прямі витрати

$$Зпр = 5,89 \times 0,15 + 5,89 \times 0,85 / 1,058 = 5,62 \text{ грн}$$

Витрати на загальновиробничі витрати

$$Зпр = 22,96 \times 1 / 1,058 = 21,70 \text{ грн}$$

Кількість палива і енерговитрат за проектом визначається по наступній формулі:

$$\text{До} = \text{Зпр} / \text{цена}$$

Таблиця 5.7. Розрахунок витрат по переділу

Найменування витрат	По вих. Даним			За проектом			Відхилення, грн
	К-ть, т	Ціна, грн	Сума, грн	К-ть, т	Ціна, грн	Сума, грн	
1	2	3	4	5	6	7	8
Паливо, тыс.м3	0,041	2790,06	114,4	0,04	2790,06	111,9	2,5
Енерговитрати							
Эл. енергія, МВатт/час	0,088	168,20	14,80	0,0875	168,20	14,72	0,08
Вода, тыс.м3	0,019	110,79	2,11	0,018	110,79	2,03	0,08
Пара, Гкал	0,107	31,16	3,33	0,105	31,16	3,26	0,07
Стисле повітря, тыс.м3	0,123	21,82	2,68	0,12	21,82	2,62	0,06
РАЗОМ енерговитрат			22,92			22,63	0,29
Допоміжне матеріали			28,17			27,94	0,23
Зарплата произв.			8,93			8,78	0,15
Відрахування на зарплату			0,03			0,03	0
Змінне оборуд. і інвентар			10,11			10,03	0,08
Зміст осн. засобів			18,11			17,27	0,84
Поточні ремонти			1009,2			1004,1	5,1
Кап. ремонт			7,38			7,04	0,34

Продовження таблиці 5.7 Розрахунок витрат по переділу

1	2	3	4	5	6	7	8
Транспортні витрати			0,55			0,54	0,01
Амортизаційні відрахування			6,59			6,23	0,36
Інші прямі витрати			5,89			5,62	0,27
Общепроизводственозні витрати			220,96			210,70	12,6
Витрати по переділу			1420,56			1380,22	43,4

На підставі виконаних розрахунків складаємо калькуляцію 1 тонни прокату

Таблиця 5.8. Калькуляція собівартості 1 т. прокату стали марки 08КП

Найменування	Сума по вих. даним, грн	Сума за проектом, грн	Відхилення, грн
Задано	10090,32	10070,48	19,84
Відходи	230,61	220,86	7,5
Задано за вирахуванням відходів	9850,71	9840,62	10,9
Витрати по переділу	1420,56	1380,22	43,4
Виробнича собівартість 1т. прокату	11280,27	11220,84	54,3

5.5 Розрахунок річної економії

$$\mathcal{E}_{\text{річ}} = (C_1 - C_2) V_{\text{вр.м}}, \text{ грн}$$

де C_1 , C_2 – собівартість 1 тонни прокату за початковими даними і за проектом, $V_{\text{вр.м}}$ – річний об'єм виробництва по марці стали і за проектом, т/год.

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{річ}} = (1128,27 - 1122,84) \times 800690,058 = 4347747,015 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок терміну окупності

$$T = 0,57 \Delta K / \Delta \mathcal{E}_{\text{річ}}$$

де T – час окупності, років; $0,57$ – частка прокату марки стали;

ΔK – вартість устаткування з урахуванням його установки, грн; $\Delta K = 11$ млн. грн.

$$T = 0,57 \times 11 \times 10^6 / 4347747,015 = 1,44 \text{ роки.}$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Слід зазначити, що створення необхідних умов для ведення ідеального процесу холодної прокатки на діючих станах пов'язане 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. Тому сенс даного дослідження бачиться не тільки і не стільки у визначенні умов для ведення ідеального процесу холодного плющення, скільки у виявленні оптимальних умов ведення процесу холодного плющення як з енергетично сприятливої сторони, так і з боку отримання високої якості прокату (з низькою подовжньою і поперечною різнотовщинністю, хорошою планшетністю, високою точністю).

Вибір обтиску. До холоднокатаних листів висуваються високі вимоги по планшетності і різнотовщинності ці та ряд інших вимог до якості листа виступають обмежуючим чинником при виборі режимів обтиснень.

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. Важливим доводом в захист 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 обтискання в останній кліті 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 кліті з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітями підвищену товщину штаби. Це зменшує вірогідність обриву штаби при регулюванні товщини штаби регулюванням натягнення.

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 прокатоної 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. Для умов роботи чотириклетьового стану 1700 Череповецького заводу при прокатуванні сталі з 2,0 на 0,5 мм відносно обтискання в четвертій кліті складає 23%. При 20%-ній допустимій зміні натягнення штаби регулятор зможе відпрацювати відносну різнотовщинність

Вибір натягнень. Коливання обтиснень в першій кліті безперервного стану холодної прокатки (до 10 – 15 %), викликані подовжньою різнотовщинністю гарячекатаних штаб і роботою грубого регулятора товщини роблять істотний вплив на профіль і форму катаних штаб і весь процес прокатки.

Одна і та ж нерівномірність деформації при прокатці у області короба приводить 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.

Температурні умови прокатки. Приведені вище дані показують, що із збільшенням температури емульсії температура поверхні валків зростає трохи, 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 . При цьому гаряча емульсія володіє хорошою відмиваючою здатністю. При охолодженні емульсією валків на смузі 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 прокатуваних штаб.

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

Технологічне мастило. В результаті можна зробити висновок, що введення в мінеральні масла 20 - 40 % жирових присадок, а також застосування як змащувачей прокатних емульсолів дозволяє забезпечити надійний захист штаби від травмування при змотуванні в рулон і зменшити енерговитрати на прокатку. Використання емульсолів водорозчинного типу дозволяє підтримувати постійною концентрацію масляної фази в прокатній емульсії.

Основною причиною утворення сажі на поверхні прокату є залишки мастила, особливо з'єднання неграничного ряду, що володіють підвищеною коксованістю. Для зменшення сажоутворення при відпалі ефективно застосування водорозчинних промаслюючих складів, прокатку шліфованими валками, якісне видалення емульсії з поверхні прокату.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Васильев Я.Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета холодной прокатки М., «Металлургия», 1995.
2. Термическая обработка. Учебное пособие для студентов ЗГИА / сост. Серета Б.П. – Запорожье: Издательство ЗГИА, 2003. – 270 с.
3. Прокатное производство, металлы и термическая обработка. Сборник трудов. Выпуск №26. Налча Г.И., Шебониц Э.Н., Бочаров В.Ф. Донецк, 1971.
4. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи (проекта) 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. Беньковский 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 М. «Металлургия», 1982, 696с.
8. Бейн Э. Влияние легирующих элементов на свойства стали. М., «ГНТИ», 1945.
9. Комановский А.З. Листопрокатное производство. Справочник. М.«Металлургия» 1979.
10. Клименко В.М. Технология прокатного производства. Киев., «Высшая школа», 1983.
11. Выдрин В.Н. Новые технологические процессы прокатки, интенсификация производства и повышение качества продукции. Челябинск., 1985.
12. Коновалов Ю.В., Колча Г.И.,Совранский К.Н. Справочник прокатчика. М. «Металлургия»,1977с.

13. Целиков А.И. Основы теории прокатки. М., «Металлургия», 1965, 247с.
14. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков. М., «Металлургия», 1985, 376с.
15. Потемкин В.К., Полухин В.П., Вишняков Я.Д., Славов В.И., Провидохин Б.И. «Изв. вуз. Черная металлургия», 1975, №11, с.65 – 68.
16. Хартман Х., Полухин В.П., Потемкин В.К. «Изв. вуз.Черная металлургия», 1981 №1, с.63 – 64.
17. Николаев В.А., Зотов О.Н., Задко Б.М., «Изв. вуз. Черная металлургия»,1977, №3, с.88 – 89.
18. Николаев В.А. Обработка металлов давлением. Методические указания для практических занятий для студентов ЗГИА специальности ОМД заочного отделения. Запорожье: ЗГИА, 2003. – 85 с
19. Старченко Д.И., Капланов В.И., Шемякин А.В., «Изв. вуз. Черная металлургия» 1975, №4, с.78 – 80.
20. Бухбиндер И.А, Рудасев В.Б., Никулин А.В., и др. «Изв. вуз. Черная металлургия», 1989, №11, с.66 – 68.
21. Дьяконова В.С., Прищепо Т.Р., Демидова А.А., Славов В.И. «Сталь», 1980, №8, с.693 – 696.
22. Нетесов Н.П., Дюльдина Э.В., Емельянова З.В., и др. «Сталь», 1992, №4, с.46 – 49.
23. Ноговицын А.В., «Сталь», 1975, №11, с.65 – 68.
24. Токарев Ю.А., Маслов А.И., Радюкевич Л.В., и др. «Сталь», 1974, №9, с.38 – 39.
25. Целиков А.И. Справочник прокатчика. М., «Металлургия»,1985.
26. Скороходов А.Н. Оптимизация прокатного производства. М., «Металлургия», 1983.
27. Санитарные правила для предприятий черной металлургии.(СН №2527-82), М.: Минздрав СССР, 1982.

28. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН 245-71. Г.: Стройиздат, 1972.

29. Типовые отраслевые нормы бесплатной выдачи рабочим и служащим специальной одежды, специальной обуви и вторых средств индивидуальной защиты. Г.: Профиздат, 1988.

30. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. Нормы проектирования. СНиП II-2-80. Г.: Стройиздат, 1981.

31. Технологическая инструкция по холодной прокатке на непрерывном четырехклетевом стане „1680”. Завод „Запорожсталь”, цех холодной прокатки № 1; Запорожье 1974г.

32. Открытое акционерное общество металлургический комбинат „Запорожсталь”. 1933 – 1998.(состави Р.Б.Шихонов), 1998. – 112 с.