

Закарпатський національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут
(назва факультету)

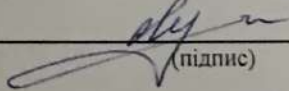
Кафедра обробки металів тиском
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

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

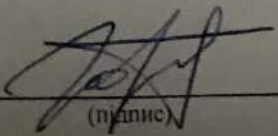
на тему Автоматизоване просіювання ретини
деформції металів на станках гнучкої
прокатки

Виконав: студент II курсу, групи 8.136.9-011
Тольєвський О.С.
(ПІБ)  (підпис)

спеціальності
136 металургія
(шифр і назва)

спеціалізація
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Обробка металів тиском
(шифр і назва)

Керівник Білоконь Ю.О.
(прізвище та ініціали)  (підпис)

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут

Кафедра Обробки металів швидко

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

Спеціальність 136 металоурганіє
(цифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Обробка металів швидко
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ ” 20 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Писаренко Олег Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи Автоматизоване проектування
ремешної деформації штабу на етапі холодної
прокатки

керівник магістерської роботи Білокопць Ю.В., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “25” 05 2020 року № 596

2. Строк подання студентом магістерської роботи до 01 грудня 2020

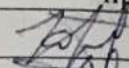
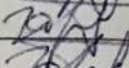

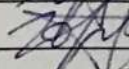
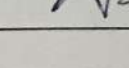
3. Вихідні дані магістерської роботи Тарасенко Олександр (У) -
сумарний вплив високотемпературного зашасу
температурної деформації при прокатці товщини
прокатувальної штаби 0,8 мм. Об'єкт дослідження
НРКП 1680

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні
розробити) Вивести, 1. Аналіз наукової інформації на
етапі прокатки, 2. Дослідницько-розрахункова
робота, 3. Обробка і з'ясування результатів дослідження,
4. Оцінка праці та механізмів деформації,
5. Економічні аспекти прокатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація у 15 слайдів

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
1	Білокозов Ю.О. к.т.н., доцент	 25.09.2020
2	Білокозов Ю.О. к.т.н., доцент	 25.09.2020
3	Білокозов Ю.О. к.т.н., доцент	 25.09.2020
4	Білокозов Ю.О. к.т.н., доцент	 25.09.2020
5	Білокозов Ю.О. к.т.н., доцент	 25.09.2020

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

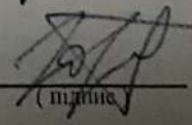
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Прим.
1	Вступ	11.09.2020	Виконано
2	Аналіз національної інформації на стан проблеми	25.09.2020	Виконано
3	Всесторонньо-розширена характеристика	02.10.2020	Виконано
4	Обробка і обговорення результатів дослідження	16.10.2020	Виконано
5	Вирок праці на предметі безпеки	10.10.2020	Виконано
6	Економічні аспекти проблеми	13.11.2020	Виконано
7	Висновки	27.11.2020	Виконано
8	Загальні висновки	27.11.2020	Виконано

Студент

 (підпис)

Білокозов Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

 (підпис)

Білокозов Ю.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: ____ сторінок, ____ рисунків, ____ таблиць, ____ літературних джерел.

Об'єкт дослідження – неперервний стан холодної прокатки 1680 ЦХП -1 в умовах ВАТ «Запоріжсталь».

Мета проекту – розробка заходів по оптимізації прокатування штаб.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків у прокатному виробництві

Проаналізовано і систематизовані основні фактори, що визначають показники роботи стану 1680. Головним з яких є режим прокатки.

У даному магістерській роботі проведена розробка режиму прокатки х/к штаби товщиною 0,8 мм. Проведено розрахунок режимів обтиску за різними методами, розрахунок енергосилових параметрів прокатки, розрахунок крутний моментів прокатки.

ПРОКАТКА, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, ОБТИСНЕННЯ, ВАЛКИ, СМУГА, ШВИДКІСТЬ ПРОКАТКИ, КУТ ЗАХВАТУ, ДУГА ЗАХВАТУ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, РОЗКАТ, ВИПЕРЕДЖЕННЯ.

THE ABSTRACT

The master's degree working in volume of _____ pages, contains _____ pictures, _____ tables

An aim of project is development of events for optimizations of rolling staff.

A method of calculations is standard methodologies of calculations in a rental production. The systematized basic factors that determine the indexes of work of the state 1680 are analysed. Main from that is the mode of rolling.

The most typical literary sources which concern the problem of the reception of tablet strips of a correct structure are revealed, considered and analysed. In the work the basic directions of the technical development in the considered area were determined on this basis, and also advantages and disadvantages of each direction and prospect of its development were analysed.

The work is devoted to the most actual topic of the plate rolling and the equipment – to increase of exactness and quality of the rolled metal, in particular to the decrease of the crosscut polythickness, cockle and camber of the sheets.

The methods of estimation of the form of sheets, bars, the reasons of the change of the form and the ways of its corrections, the connection of form of bars and distributions of non-uniformity of extractions on width of bars at thin sheet rolling were considered.

The developed method of determination of change of the form of bars during rolling and determination of coefficients of alignment of the form is resulted.

ROLLING, DEFORMATION, TECHNOLOGY, EXACTNESS, CROSS-SECTION, COLD-ROLLING, COCKLE (WAVENESS), STRIPE, POLYTHICKNESS, TEMPERATURE CONDITION

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ.....	
1.1 Загальна характеристика станів холодної прокатки	
1.2 Аналіз технології і режимів обтисків	
1.3 Технологічні обмеження	
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	
2.1 Критерії і методи оптимізації режимів прокатки	
2.2 Комп'ютерна система розрахунку параметрів і оптимізації процесу холодного прокатки	
2.3 План проведення експериментальних досліджень	
2.4 Отримання математичної моделі оптимізації режиму прокатки	
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1 Аналіз режимів деформації НСХП 1680 і 1700	
3.2 Оптимізація режиму прокатки	
3.3 Розрахунок параметрів прокатки раціонального режиму деформації	
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії	
4.3 Електробезпека	
4.4 Заходи щодо техніки безпеки	
4.5 Пожежна та техногенна безпеки	
4.6 Розрахунок штучного освітлення ділянки безперервного стана холодної прокатки «1680»	
5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	

ВСТУП

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 багатоклітьових безперервних станів холодної прокатки високої продуктивності зі швидкостями прокатки 30-35 м/с, які працюють на рулонах масою до 45-60 т, і забезпечують високу точність параметрів та якість готової продукції.

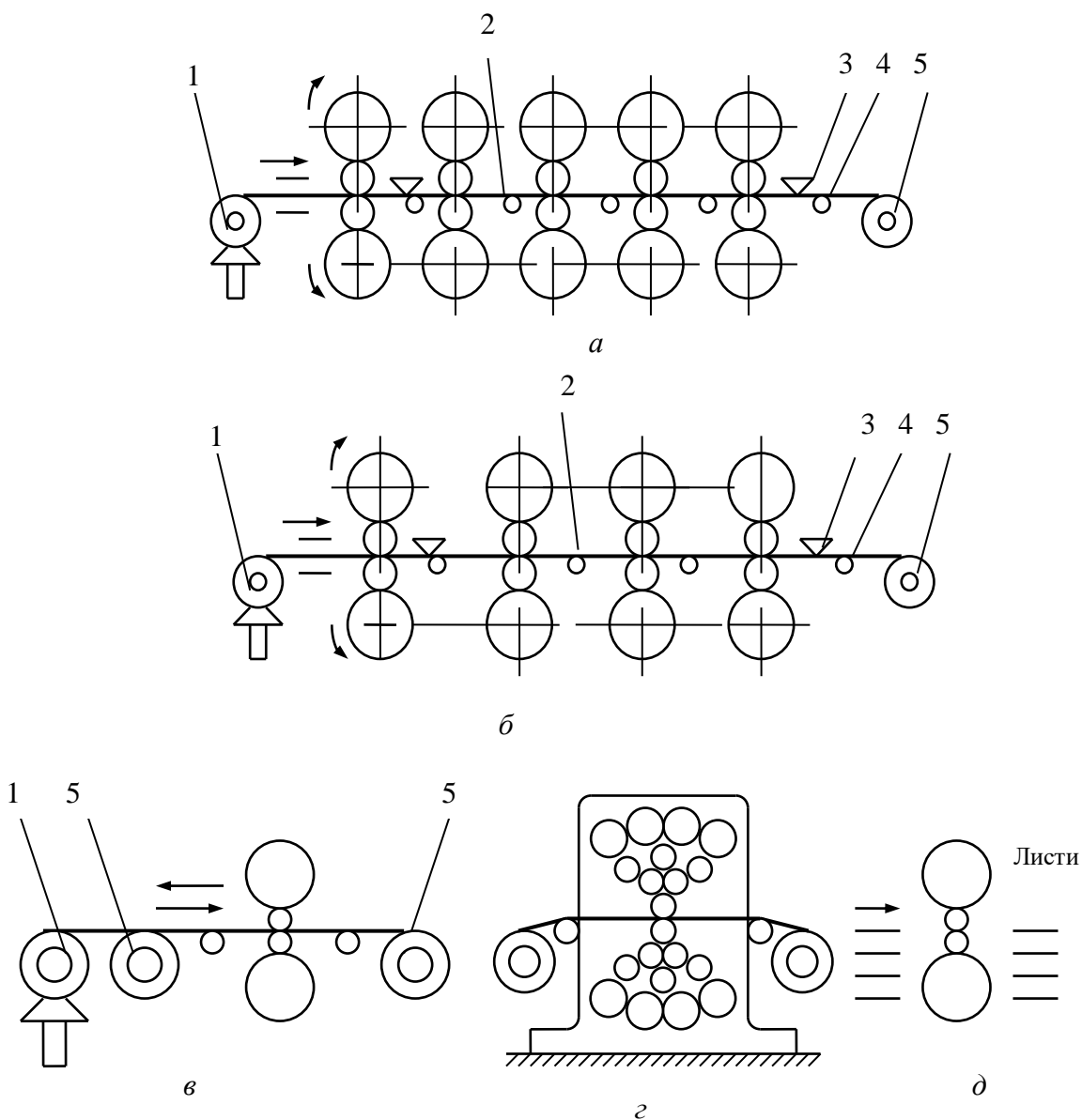
Спостерігається подальше збільшення маси рулонів, довжини бочок валків, числа робочих клітей і швидкостей прокатки. Підвищення точності параметрів готової продукції й поліпшення її якості досягають збільшенням твердості прокатних клітей, застосуванням полірованих валків, впровадження систем противоізгиба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

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Загальна характеристика станів холодної прокатки

Залежно від способу виробництва розрізняють стани штабової (безперервні, реверсивні) і штабової (штучної) прокатки. По призначенню стани холодної прокатки діляться на прокатні, дресирувальні й прокатно-дресирувальні. Найбільш сучасними станами холодної прокатки є безперервні стани [1]. Широко застосовуються реверсивні штабові стани. Стани штучної прокатки мають досить обмежене застосування. Холодна прокатка рулонної штаби здійснюється на станах різного типу: безперервних чотирьохвалкових (3, 4, 5 і 6-клітьових), реверсивні чотирьохвалкових і багатовалкових (головним чином 20-валкових). На безперервному стані кліті розташовані, можливо, ближче одна до іншої (практично відстань між осями клітей дорівнює 4, 5-5 м). Робітники валки кожної кліті постачені приводом від електродвигуна (одного або двох) постійного струму потужністю 3-5 тис. кВт із регулюванням швидкості в широких межах через шестерну кліть, або без її, і універсальні шпинделі. Рулони протравленої штаби встановлюють за допомогою мостового крана на транспортер і по черзі подають їх до розпускача 1 (рис. 1.1).

Валки всіх клітей обертаються з так званою заправною швидкістю (0,5 - 1 м/с). Передній кінець штаби на рулоні відгинається магнітним відгибачем, через провідковий стіл подається послідовно у валки кожної кліті й заправляється в щілину барабана моталки 5. При прокатці тонкої штаби (до 0,5 мм) кінець її в щілину барабана не заправляється, а намотується на барабан (перші 2-3 витка) за допомогою ремінного заправника. Між останньою кліттю й моталкою передбачений напрямний ролик 4.



a – пяти (шести)-клітьовий безперервний стан; *б* – трьох (чотирьох)-клітьовий безперервний стан; *г* – 20-валковий стан; *д* - нереверсивний одноклітьовий стан для прокатки листів з пачки; 1 - розпускувач; 2 – вимірювач натягу штаби; 3 – вимірювач товщини штаби летучий мікрометр); 4 – направляючий ролик; 5 – зматувач

Рисунок 1.1 – Схеми станів холодної прокатки

Після заправлення переднього кінця штаби на барабан моталки швидкість валків всіх клітей збільшується до максимальної робочої швидкості. Процес прокатки рулону триває 5-10 хв залежно від маси рулону.

Перед закінченням прокатки швидкість валків зменшується: рулон прокачаної штаби зіштовхується з барабана моталки й направляється на отжиг або електролітичне очищення.

Для зменшення тиску металу на валки при прокатці й можливості «викочування» тонкої штаби у валках щодо великого діаметра в процесі прокатки на штабу подається змащення (при прокатці жерсті - пальмове масло або його замітники; при прокатці більше товстих штаб - масляна емульсія).

Як правило, прокатка штаби на безперервному стані здійснюється за один прохід. У деяких (наприклад, при прокатці кременистої трансформаторної сталі) для одержання необхідних товщини готової штаби і її властивостей (магнітних, механічних) після першого проходу рулон піддають відпуску й потім прокочують удруге на цьому ж стані [5]. Стани холодної прокатки, крім основного встаткування (рис.1.1 д), ще оснащені: машинами й механізмами, що забезпечують приймання й укладання їхньої пачки, транспортування рулонів або пачок після прокатки; пристроями для регулювання величини петлі й натяги, а також системами для подачі технологічного змащення й охолодної рідини. На сучасних станах холодної прокатки застосовують кліті кварто або багатовалкові кліті.

Тип і параметри основного встаткування станів холодної прокатки визначаються розмірами й механічними властивостями штаб, що прокочуються, і аркушів, а також масою й розмірами вступників рулонів. На вибір типу стана істотний вплив роблять вимоги, пропоновані до якості й точності продукції.

Безперервні стани холодної прокатки характеризуються великою продуктивністю й високим ступенем автоматизації. Вони призначені для випуску порівняно вузького сортаменту штаб і встановлюються в

спеціалізованих цехах з більшим обсягом виробництва. Залежно від сортаменту штаб, що прокочуються, безперервні стани мають від трьох до шести робочих клітей.

В 1969 році на заводі фірми «Ниссин сэйко» у Сьонане (Японія) був пущений перший у світі безперервний стана із двадцятивалковими клітями системи Сендзимира. Особливістю цього стана є те, що крім чотирьох робітників двадцятивалкових клітей є ще дві кліті дуо. Кліті дуо встановлені в головній і хвостовій частинах стана й служать для відглажування відповідно до вихідній і кінцевій неплщинності штаб, а також для вирівнювання натягів по ширині штаби.

У цей час одержали найбільше поширення чотирьох- і п'ятиклітьового безперервні стани, оснащені клітями кварто.

Трьохклітьові безперервні стани кварто застосовуються для холодної прокатки штаб з вуглецевих марок сталей товщиною 0,6-3,0 мм і шириною 650-1850 мм.

Як вихідні заготівлі застосовують горячекатану штабову сталь товщиною 2-5 мм у рулонах масою 5- 25 т.

Трьохклітьові стани мають валки з довжиною бочки до 2030 мм. Швидкість прокатки на цих станах становить 3-15 м/с, а їхня річна продуктивність досягає 0,3-0,6 млн. т.

У виді обмеженості сортаменту штаб, що випускаються, трьохклітьові стани холодної прокатки в цей час не будуються.

Чотирьохклітьові безперервні стани застосовуються для прокатки штаб з вуглицевих і легованих сталей товщиною 0,3-3,5 мм, шириною до 2350 мм. Довжина бочки валків цих станів 1380-2500 мм, діаметри робочих валків 500-600 мм, опорних валків 1300-1600 мм. Швидкість прокатки на чотирьохвалкових станах досягає 20-25 м/с, а їхня річна продуктивність 1,2-1,5 млн. т.

Підкатом для чотирьохвалкових станів служить горячекатана штабова сталь товщиною 1,5-6,5 мм у рулонах масою до 25-35 т. Сумарні обтиснення

при прокатці на чотирьохкільтових безперервних станах перебувають у межах 50-80%.

П'ятикільтові безперервні стани призначені для прокатки штаб з вуглицевих і легованих сталей товщиною 0,15-3,0 мм, шириною до 2080 мм.

Довжина бочки валків п'ятикільтових станів дорівнює 1200-2210 мм, а діаметри робочих і опорних валків відповідно 500-660 мм і 1300-1525 мм.

Підкатом для п'ятикільтових безперервних станів служить гарячекатана штаба товщиною 1,2-6,5 мм у рулонах масою до 45-60 т. Сумарні обтиснення при прокатці на п'ятикільтових станах досягають 85-90 %.

Залежно від призначення розрізняють п'ятикільтові жестепрокатні стани й п'ятикільтові стани, призначені для прокатки штаб широкого сортаменту, включаючи сортамент чотирьохкільтових безперервних станів і частково сортамент жестепрокатних станів.

П'ятикільтові безперервні стани, призначені для прокатки штаб широкого сортаменту мають довжину бочки валків 1700-2210 мм і швидкість до 25-30 м/с. Продуктивність цих станів досягає 1,8 млн. т у рік.

Широкий сортамент (0,15-3,0 мм) і більша продуктивність (0,8-1,8 млн. т у рік) п'ятикільтових безперервних штабових станів роблять їхнє застосування в більшості випадків більше кращими, чим чотирьохкільтові безперервних станів.

Крім того, сучасні п'ятикільтові стани більш повно відповідають підвищеним вимогам, пропонованим до якості й точності листової продукції.

Шестикільтові безперервні стани холодної прокатки тонкої жерсті товщиною 0,08-0,15 мм і тонких штаб товщиною до 1 мм, шириною до 1300 мм. Жерсть, прокачана на цих станах, може бути товарною продукцією або служити підкатом для виробництва найтоншої жерсті - фольги товщиною 0,03 - 0,076 мм.

Параметри встаткування шестиклітьових станів відповідають параметрам п'ятиклітьових жестепрокатних станів. Максимальна швидкість прокатки становить 40 м/с, маса рулонів, що прокочуються, досягає 30-45 т.

Річна продуктивність шестиклітьових станів становить 500-700 тис. т.

Важливим етапом у розвитку безперервних станів холодної прокатки штаби є розробка способу прокатки штаб нескінченної довжини. Відмінною рисою цього способу є безперервність процесу прокатки в межах даного замовлення або в період між перевалками, що сприяє збільшенню продуктивності стана, стабілізації розмірів вихідної штаби й збільшенню терміну служби валків.

Спосіб прокатки штаби нескінченної довжини розроблений у Японії й в 1971 г застосований на п'ятиклітьовому безперервному стані 1420.

На рис. 1.2 наведена схема п'ятиклітьового стана 1420, призначеного для прокатки жерсті й тонких штаб товщиною 0,15-1,6 мм зі швидкістю до 30,5 м/с. Річна продуктивність стана становить 1,2 млн. т.

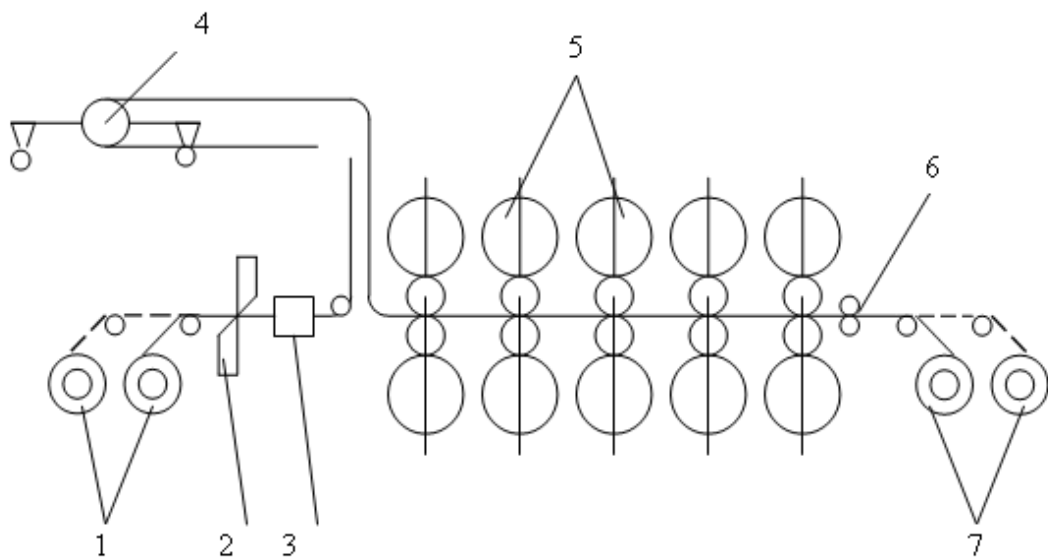
Для одержання штаби нескінченної довжини кінці штаб перед станом зварюються. Із цією метою в головній частині стана передбачена установка двох розпускувачів 1 з відгибачем кінця штаби, ножиці 2, стикозварювальної машини 3 і накопичувачі (акумулятора) штаби 4. За робочими клітьми 5 установлені летучі ножиці 6 і дві моталки 7.

На стані 1420 передбачається також установити систему автоматичного регулювання петлі перед станом і систему автоматичного виявлення зварених швів з метою ідентифікації розмірів штаби в зоні звареного шва з розмірами штаби в іншій частині.

Принцип нескінченної прокатки реалізований уперше в Європі на п'ятиклітьовому НСХП 2030 Новолипецького металургійного комбінату, що має наступні технічні параметри: довжина бочки валків - 2030 мм; діаметри бочок робочого й опорного валків - 615 і 1600 мм; максимальна швидкість прокатки - 31,6 м/с; сумарна потужність головних приводів - 48500 кВт; вихідна й кінцева товщини штаб 1,8...6 мм і 0,35...3,5 мм; ширина штаби -

900...1850 мм; маса рулону - до 45 т; матеріал штаб - вуглецеві й конструкційні сталі. Состав устаткування вхідної сторони стана дозволяє вести як нескінченну, так і звичайну порулоної прокатку.

Поперечна різнотовщинність знижується за рахунок застосування профілювання валків, однак цей спосіб не завжди ефективний внаслідок широкого сортаменту штаб, що прокочуються на валках з одним профілюванням [16].



- 1 – розпускувач; 2 – ножиці; 3 – зварювальна машина; 4 – накопичувач штаби (аккумулятор); 5 – кліть; 6 - літучі ножиці; 7 – змотувач

Рисунок 1.2 – Схема п'ятиклітьового стана 1420

При розрахунку режимів обтиснень на станах холодної прокатки визначають товщину вихідного підкату, величини обтиснень по клітях (проходам), швидкісний режим прокатки, вибирають режими натягів, розраховують тиск на валки й потужність прокатки, роблять перевірку валків на міцність і визначають ступінь завантаженості приводних двигунів.

Раціональний режим обтиснень повинен забезпечити максимальну продуктивність стана, високу точність штаб і найкраще використання встаткування стана.

При розробці раціонального режиму обтиснень ураховують рівність обсягів металу, що проходить по клітках за секунду, міцність валків, натяг штаби, потужність двигунів головного привода, вимоги до точності розмірів і форми штаби, вимоги до механічних властивостей аркуша.

Розподіл обтиснень по клітках (проходам) виробляється по двох принципово різних схемах.

По першій схемі відносні обтиснення зменшуються від першої клітки до останнього. Такий розподіл обтиснень припускає максимальну деформацію металу при відносно більших товщинах штаби, що є енергетично вигідним. Невеликі обтиснення в останній клітці забезпечують одержання штаб з мінімальною неплоскостістю. Ця схема застосовується при прокатці щодо товстих штаб, а також при прокатці тонких штаб з підкату з мінімальною різнотовщинністю й гарної планшетністю. До недоліків цієї схеми варто віднести те, що при прокатці на заправній швидкості тиск металу на валки в першій клітці значно зростає в порівнянні з тиском при сталому процесі, тому що прокатка в зазначеному періоді ведеться без натягу.

По другій схемі відносні обтиснення в першій клітці нижче, а наступних клітках, у тому числі й в останній, вище, ніж по першій схемі. При цьому прокатка в останній клітці може здійснюватися з відносними обтисненнями, рівними або навіть трохи більшими, ніж у попередніх клітках.

Зменшення величини обтиснення в першій клітці безперервного стана обумовлено незадовільною точністю (значної поздовжньої різнотовщинністю й неплоскостістю) гарячекатаного підкату. Це забезпечує зменшення неплоскості й у деякій мері зменшує поздовжню різнотовщинність гарячекатаного підкату. Звичайно величина обтиснень у першій клітці безперервного стана, коли прокатка ведеться по другій схемі, становить 10-25%. В останні роки спостерігається тенденція до збільшення обтиснень у перших клітках чотирьох- і п'ятикліткових станів до 25-35%. Це пов'язане з підвищенням точності підкату в результаті впровадження на широкоштабових станах гарячої прокатки систем автоматичного

регулювання товщини й систем автоматичного регулювання профілю й форми штаби.

У табл. 1.1 наведений приклад сумарних і приватних обтиснень по клітках безперервних станів холодної прокатки [14], у табл. 1.2 - режим обтиснень при холодній прокатці штаб на безперервному пятиклітьовому стані 1200 [17], а на рис. 1.3 - розподіл обтиснень по клітках безперервних станів.

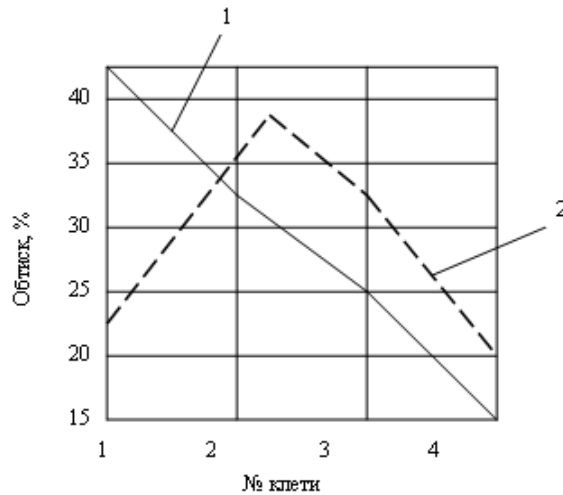
Для важкодеформіруємих сталей застосовують менші обтиснення, чим для м'яких, і не допускають, щоб питомий тиск металу на валки перевищувало 200 кг/мм^2 (2000 МПа), тому що виходять із ладу робочі й опорні валки через викрашування поверхні їхніх бочок.

Таблиця 1.1 - Сумарні й приватні обтиснення по клітках НСХП

№ п/п	Стан	Сумарне обтиснення, %	Приватні обтиснення по клітках, %					
			I	II	III	IV	V	VI
1	Трьохклітьовий	40-60	30-50	15-50	5-15	-	-	-
2	Чотирьохклітьовий	50-80	10-35	25-45	25-45	20-25	-	-
3	П'ятиклітьовий	60-90	10-35	35-45	35-45	25-40	25-35	-
4	Шестиклітьовий	80-95	25-35	25-35	25-35	25-35	25-35	25-35

Таблиця 1.2 - Режими обтисків при холодній прокатці штаб на безперервному п'ятиклітьовому стані 1200

№ кліті	Товщина штаби, мм		Обтиснення за прохід		Сумарне обтиснення, %
	до проходу	після проходу	абсолютне, мм	відносне	
1	2,20	1,95	0,25	11,4	11,0
2	1,95	1,08	0,87	44,8	51,0
3	1,08	0,67	0,41	39,0	70,0
4	0,67	0,43	0,24	38,0	80,0
5	0,43	0,25	0,18	42,0	88,0



1 – на стані 1680; 2 – на стані 1700

Рисунок 1.3 – Розподіл обтисків по клітках безперервних станів

Розглянуті режими обтисків у табл. 1.2 застосовують у більшості випадків при прокатці жерсті й штаб товщиною 0,4-0,6 мм. При прокатці порівняно товстих штаб, які звичайно прокочують на чотирьохклітьових безперервних станах, четверта кліть повинна бути оздоблювальною, а тому обтиснення в ній невеликі. Це дозволяє звести до мінімуму кількість беззамовлених листів по товщині, тому що при цьому легше прокочувати й випускати задні кінці штаб без натягу, а також підвищується ефективність застосування тонкого автоматичного регулювання товщини штаби.

Як приклад у табл. 1.3 наведені режими обтисків при прокатці штаб на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680.

Таблиця 1.3 - Режими обтиску при холодній прокатці штаб зі сталей 05 кп, 08 кп, 10 кп, 05 пс і 08Ю на безперервному стані 1680.

Вихідна й кінцева товщини штаби, мм	№ кліті	Товщина штаби, що виходить із кліті, мм	Обтиснення		Сумарне обтиснення, %
			абсолютне, мм	Відносне, %	
1	2	3	4	5	6
2,1-0,5	1	1,35	0,65	32,5	32,5
	2	0,87	0,48	35,6	56,7
	3	0,60	0,27	31,0	70,0
	4	0,50	0,10	16,7	75

Продовження таблиця 1.3

1	2	3	4	5	6
2,7-0,8	1	1,80	0,90	33,4	33,4
	2	1,25	0,55	30,6	53,8
	3	0,95	0,30	24,0	65,0
	4	0,80	0,15	15,9	70,5

У табл. 1.4 наведені характерні режими обтиснень при прокатці штаб з вуглецевої сталі на безперервному чотирьохклітьовому стані 2020 заводу Зальцгіттер (Німеччина).

Таблиця 1.4 - Режими обтиску при холодній прокатці штаб на безперервному чотирьохклітьовому стані 2020 (Німеччина)

Вихідна й кінцева товщини штаби, мм	№ кліті	Товщина штаби, що виходить із кліті, мм	Обтиснення		Сумарне обтиснення, %
			абсолютне, мм	Відносне, %	
2,0-0,90	1	1,60	0,40	20,0	20,0
	2	1,28	0,32	20,0	36,0
	3	1,00	0,28	22,0	50,0
	4	1,00	0,28	22,0	50,0
2,0-0,64	1	1,55	0,45	22,5	22,5
	2	1,05	0,50	32,0	47,5
	3	0,75	0,30	28,5	62,5
	4	0,64	0,11	14,5	68,0

Як видно з табл. 1.4, на цьому стані прокатка ведеться з відносно невеликими обтисненнями в першій і четвертій клітях. Такий розподіл обтиснень є найбільш раціональним, тому що дозволяє вирівнювати товщину штаби в першій кліті й одержувати рівні штаби в четвертій кліті.

1.2 Аналіз технології і режимів обтисків

При визначенні технології і режимів обтискання на стані звичайно виходять з досліду роботи персоналу, існуючих традицій і прийнятих на заводах технологічних схем, особливостей встановленого , якості і конкретних вимог, що пред'являються до готової продукції. О такий диференційований підхід обмежує автоматизованих систем для розрахунку і

оптимізації режимів обтискань. Її особливості процесу зумовлюють те, що в даний час немає методів розрахунку режимів холодної тонколистової прокатки. Ці режими звичайно встановлюють на підставі даних і поступово коректують в процесі роботи [26].

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

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

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

Сумарний відносний обтиск

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

Д роботи вітчизняних і зарубіжних станів показує, що сумарне відносне

обтискання при холодній прокатці штаб вуглецевих сталей складає 0,45..0,80. При прокатці жерсті сумарне відносне обтискання досягає 0,90...0,95. Величина сумарного відносного обтискання при прокатці легованих сталей звичайно не перевищує 0,50...0,70 [1].

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

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

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

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

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

Марганцевисті сталі при холодному плющенні сильно наклепують. У зв'язку з цим знижується пластичність сталі і підвищується тиск металу на

валяння. Сумарний обтиск при прокатці марганцевистих сталей не перевищує 75 % – у разі прокатування до 0,5 мм, при плющенні до 0,9 – 70%, оскільки підкат <2мм на тонколистовому стані гарячого прокатування неможливо. Так, у сталі 12Г2А, 12Г2, 10Г2, 16Г2 при 10%-ном обтисканні майже рівний межі міцності. Стали 25ХГСА, 30ХГСА, 08ГСЮФ, 08ГСЮТ порівняно пластичні. Холодне прокатування штаб цих сталей на безперервних станах кварто після попереднього пом'якшувального відпалу не ускладнень.

Для забезпечення кращого комплексу механічних властивостей стали сумарне обтискання при холодному плющенні повинне відповідати інтервалам 53.56%, 62.64%, 70.75% [11]. Оптимальні сумарні обтискання дозволили на стані 2030 стабільність властивостей автолистової сталі (Таб.1, цифра зліва від косої межі відповідає плющенню по оптимальному режиму обтискань; справа – по режиму, що діє в період освоєння стану).

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

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

Товщина штаби	Границя	Середньоквадр. від-	Коеф. варіації
---------------	---------	---------------------	----------------

h, мм	текучості $\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	хилення $S_{\sigma_T}, \text{Н/мм}^2$	$V_{\sigma_T} \%$
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

Таблиця 1.5 - Стабільність властивостей сталі автомобільних листів

Характеристичні зони максимального розкиду механічних властивостей зонами деформації, відповідними до максимального середньоквадратичного відхилення площини холоднокатаних листів. Додатковим показником служить питомий вихід другого сорту металу по площинній. Результати статистичного аналізу зміни площинної холоднокатаних листів залежно від сумарного обтискання представлені в таблиці 1.7. Для встановлення зв'язку між результатами, статистичною обробкою даних зміни планшетності, і параметрами процесу прокатування в характеристичних областях обтискань було проведене холодне прокатування на напівпромисловому стані 800/500/500. Плющенню піддавали гарячекатану штабу із сталі 08ГСЮТ розміром 2,5 x 315 мм із ступінчастою зміною ступеня деформації через 2-4 % у сумарному діапазоні обтискань від 35 – 85 % . При здійсненні вказаного експерименту товщину підкату через 5 метрів з маркіровкою місць вимірів.

Таблиця 1.7 - Порівняння положення зон максимального середньо квадратичного відхилення площинності листів і виходу другого сорту по дефектах площинності з зонами дії ефекту термічного розміцнення.

Марка	Зони сумарного обтиску %
-------	--------------------------

сталі	ЕАР	відхилення площинної	вихід другого сорт
08ГСЮТ	57,5	58,5	–
	–	–	62,5
	–	64,5	64,5
	67,0	–	67,0
	70,5	70,5	69,5

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

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

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

У відпаленому стані вивчали зміну середнього розміру феритного зерна, твердості HRB, механічних властивостей з визначенням повного й рівномірного подовження δ_n і δ_p , межі міцності й плинності σ_b і σ_T . Крім того, оцінювали штампувальність готового листа шляхом дослідження текстури й

визначення коефіцієнтів нормальної й площинної анізотропії R_H і $R_{пл}$, а також коефіцієнта зміцнення n .

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

$$R_H = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

ε_x - відносні деформації по ширині ;

ε_z - відносні деформації по товщині;

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

$$R_H = \frac{b_0 - b_1}{t_0 - \frac{t_0 b_0 l_0}{b_1 l_1}} \frac{t_0}{b_1}$$

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

$$R_{пл} = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}$$

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

При дослідженні зміни феритної структури залежно від величини сумарного обтиснення виявили монотонне зменшення середнього розміру зерна при збільшенні ступеня деформації від 10 до 73%. При обтисненнях 50-73% середній діаметр 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. 1.4, а) установили, 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.

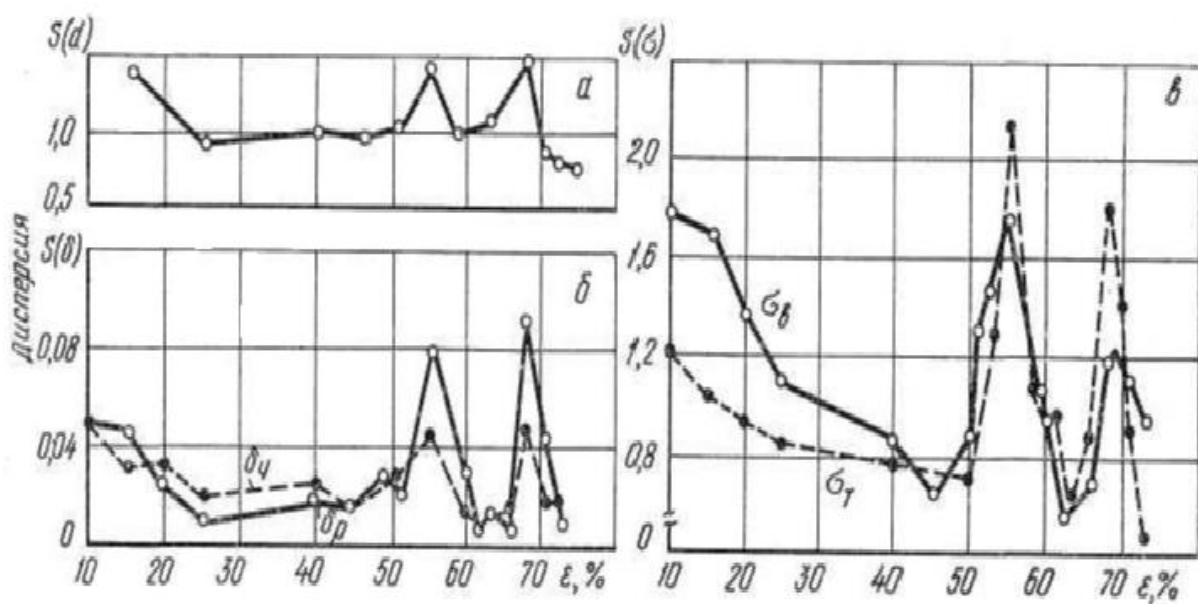


Рисунок 1.4 – Зміна дисперсії структури й механічних властивостей сталі

08ГСЮТ у відпаленому стані.

Наслідком збільшення структурної неоднорідності з'явилося підвищення нестабільності механічних властивостей в аномальних областях (рис. 1.4, 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.

Текстуру досліджували шляхом побудови полюсних фігур і визначення полюсної щільності $P_{(h,k,l)}$ текстурних компонентів (100) і (111). Аналіз полюсних фігур дозволяє описати текстуру аркуша після рекристалізаційного відпалу наступними компонентами: (111)<112>; (111)<110>; (001)<110>; (112)<110>. Це цілком погодиться з літературними даними по текстурах для о.ц.к. металів. Зі збільшенням обтиснення орієнтування, що погіршують штампувальність (112) <110>; (001)<110>, слабшають, а сприятливі орієнтування (111)<112>; (111)<110> підсилюються. Однак при ступенях деформації в районі 55 і 68% спостерігається зворотна закономірність, Результати дослідження полюсної щільності $P_{(h,k,l)}$ залежно від обтиснення, наведені на рис. 1.2, також свідчать про зміну співвідношення текстурних компонентів при обтисненнях 55 і 68% у бік росту несприятливої для штампувальності компоненти {100} і зменшення сприятливого компонента {111}. Необхідно відзначити, що зі збільшенням сумарного обтиснення спостерігається збільшення частки текстурного компонента {111} і зменшення компонента {110}, виключення становлять аномальні області. Це явище впливає на зміну таких характеристик штампувальності, як коефіцієнт нормальної анізотропії R_n , коефіцієнт зміцнення n і коефіцієнт площинної анізотропії $R_{пл}$. Коефіцієнт нормальної анізотропії R_n зі збільшенням сумарного обтиснення зростає з 0,4 до 1,2, а коефіцієнт площинної анізотропії падає з 1,4 до 0,2, що свідчить про поліпшення штампувальності,

в аномальних областях, навпаки, спостерігається значне збільшення коефіцієнта $R_{пл}$ і зменшення добутку R_n (рис. 1.6, а).

Дослідження зміни пластичних характеристик δ_p і δ_n дозволило виявити погіршення пластичності металу при ступенях деформації 55 і 68% (рис. 1.6, б). У таблиці наведені значення обтискень, що відповідають областям аномального поведінки 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 обтисків формується структура, що характеризується підвищеною неоднорідністю. Текстура в цих областях має збільшену частку несприятливих компонентів $\{100\}$, Внаслідок цього механічні властивості при зазначених ступенях деформації характеризуються підвищеною нестабільністю й низькими показниками штампувальності.

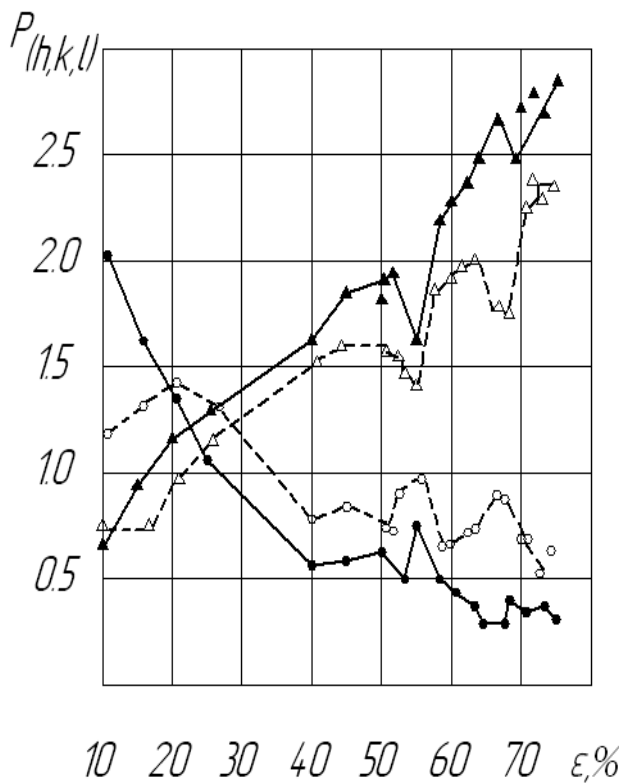


Рисунок 1.5 – Зміна полюсної щільності текстурних компонентів $\{111\}$ (Δ) і $\{100\}$ у середні (—) і

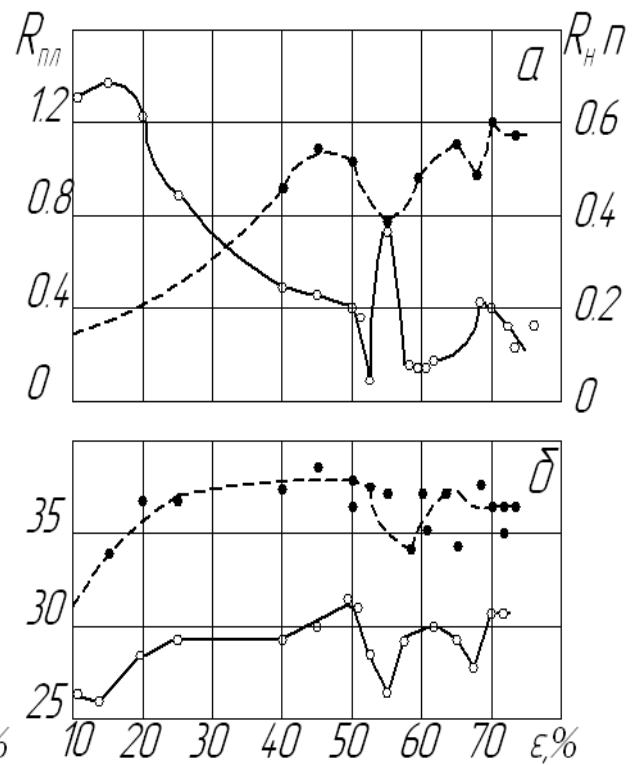


Рисунок 1.6 – Вплив сумарного обтискення на штампуємість (а) і пластичність(б) відпаленого листа.

поверхневих (- -) шарах листа.

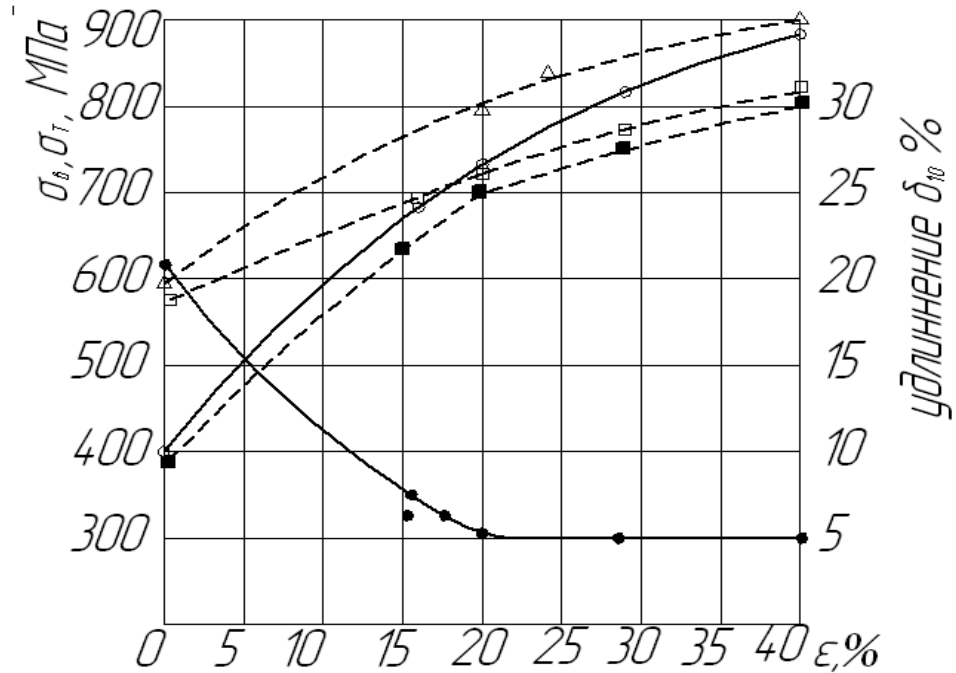


Рисунок 1.7 – Зміна механічних властивостей сталі 08ГСЮТ залежно від ступеня обтиснення при холодній прокатці.

Схеми розподілу приватних обтисків по клітях

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

З урахуванням сказаного на вітчизняному й закордонному безперервному станах холодної прокатки розподіл приватних відносних обтискень по клітях виробляється по двох принципово різних схемах [1] (рис.1.8, а, б) (де ϵ - обтиснення в %, N - номер кліті). По першому схемі

(рис. 1.8, а) частки відносні обтиснення зменшуються від першої кліті до останнього. Такий розподіл приватних обтиснень припускає ведення процесу з найбільшими деформаціями в початкових клітках стана, коли значення параметра R/h_0 (де R , h_0 - відповідно радіус робочого валка й товщина штаби на вході у вогнище деформації) невеликі, що є енергетично вигідним. Крім того, матеріал штаби в початкових клітках стана характеризується найбільшою пластичністю й найменшим опором деформації. Ця схема застосовується при прокатці щодо товстих штаб, а також при прокатці тонких штаб з підкату з мінімальною різнотовщинністю й гарної планшетністю. Різновидом даної схеми є схема, представлена на рис. 1.8, що передбачає деяке зменшення приватного відносного обтиснення в першій клітці. Така схема використовується, коли гарячекатаний підкат має значну поздовжню різнотовщинність. Доцільність застосування більше низьких відносних обтиснень у першій клітці обумовлюється тим, що найбільше зниження відносної поздовжньої різнотовщинності досягається при холодній прокатці, несклепаного металу з невеликими обтисками.

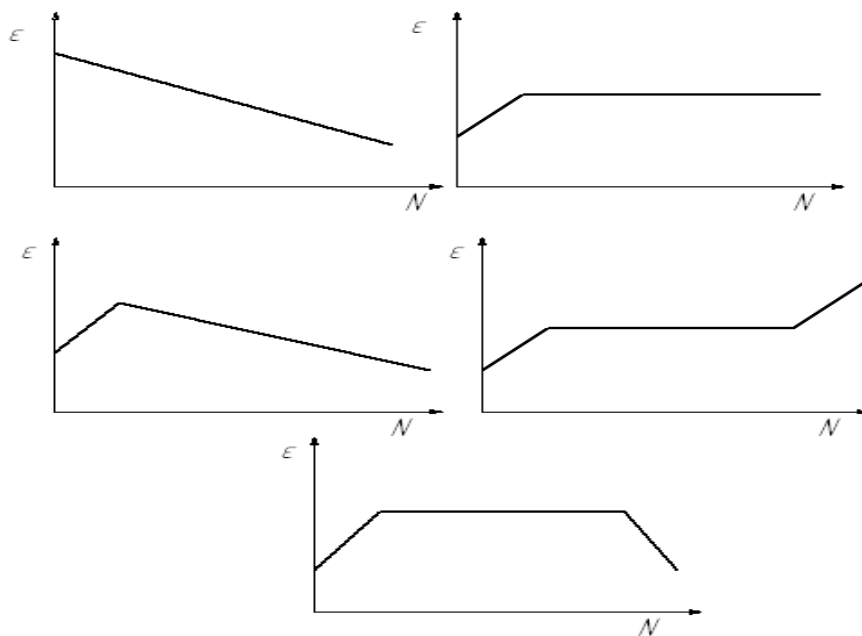


Рисунок 1.8 – Схема розподілу приватних обтиснень по клітках безперервних станів прокатки

По другій схемі (рис. 1.8, б) приватні відносні обтискання у всіх клітках, за винятком першої, встановлюються приблизно на одному рівні. Застосування менших відносних обтискань в першій клітці обумовлюється викладеними вище міркуваннями. Різновидами другої схеми є схеми, представлені на рис. 1.8, г, д, що передбачають прокатування із збільшенням (рис. 1.8, г) або зменшенням (рис. 1.8, д) обтиску в останній клітці. Застосування вищих приватних відносних обтискань в останній клітці (рис. 1.8, г) дозволяє збільшити товщину штаби в останньому проміжку безперервного стану, що сприяє зниженню обривності. Така схема застосовується при плющенні тонкої жерсті. Реалізація цієї схеми приводить до великих навантажень механічного і електричного останній клітці, великим контактним і високій температурі штаби і валків, значення яких можуть виявитися близькими до гранично допустимих, або перевищувати їх. У останньому випадку виникає необхідність в зниженні швидкості і (або) приватного відносного обтискання в останній, клітці стану. Схема із зменшенням відносного обтискання (рис. 1.8, д) реалізується, коли в останній клітці застосовують робочі валяння з насіченою поверхнею, або при недостатній потужності приводу моталки.

З урахуванням сортаменту, конкретних вимог, що пред'являються до якості готової продукції, і особливостей технології прокатування на кожному стані фактичні схеми розподілу приватних відносних обтискань можуть дещо відрізнятися від схем, представлених на рис. 1.8.

До автомобільних листів висуваються високі вимоги по планшетності і різнотовщинності ці та інших вимог до якості листа виступають обмежуючим при виборі режимів обтиску.

При прокатці в першій клітці заднє натягнення практично відсутнє, чого штаба при великих обтисках погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатування [26]. Ця обставина обмежує обтиск в першій клітці. Крім того обтиск в першій клітці обмежується тим, що гарячекатаний підкат має різнотовщинність (першу кліть необхідно

використовувати для регулювання товщини штаби за допомогою САРП і тому вона повинна мати резервну потужність для забезпечення належного діапазону регулювання).

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

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

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

Обтискання в останній клітці збільшують до певної межі, на чо-

тирехклітьових станах при плющенні низьколегованих сталей – до 20 – 25%.

Швидкість прокатки

Швидкість прокатки впливає на режими обтискань 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. О із зростанням швидкості прокатки змінюються температура штаби і потужність прокатки. Ці два параметри часто стають технологічними обмеженнями при розробці і реалізації режимів обтискань на безперервних станах.

Механічні властивості матеріалу штаби

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

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

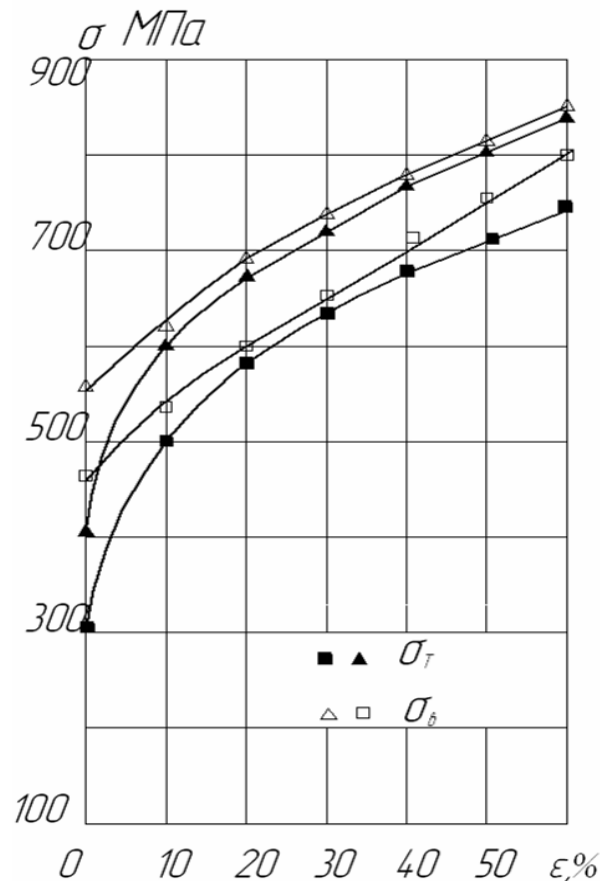


Рисунок 1.9 – Залежність характеристик міцності сталей від ступеня деформації

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

$$\sigma = \sigma_0 + A\varepsilon^n$$

σ_0 – поточне значення межі σ_T або σ_B

σ – початкове значення межі σ_T або σ_B ;

A, n – постійні коефіцієнти.

для низьколегованої сталі 08ГСЮФ завтовшки 1,0 мм

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

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

для низьколегованої сталі 08ГСЮТ завтовшки 1,0 мм

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

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

Пружні деформації валків і штаби

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

Умови роботи систем регулювання

Для забезпечення високої ефективності роботи систем автоматичного регулювання товщини (САРТ), натягень (САРН), профілю і форми штаби (САРПФ) на безперервних станах холодного прокатування необхідно застосовувати приватні відносні обтискання 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.

1.3 Технологічні обмеження

При розробці режимів обтискань на безперервних станах холодної прокатки, як втім і на будь-яких інших станах, повинні бути враховані технологічні обмеження. У технологічних обмежень при розробці режимів обтискань дозволяє по суті сформулювати умови, забезпечуючі ефективну роботу технологічного і отримання продукції з необхідними показниками якості. Умови, що гарантують найбільшу ефективність роботи технологічного, найкращі показники якості продукції або найменші витрати можуть бути сформульовані оптимізації тих, що розробляються режимів обтиску по відповідних критеріях.

Таким чином, технологічних обмежень є необхідною умовою при розробці режимів обтискань на безперервних станах холодного прокатування. У технологічних обмежень і задоволення вибраним критерієм оптимізації може розглядатися як необхідна і достатня умова при створенні найкращих (оптимальних) режимів обтискань. Критерії оптимізації залежно від конкретних умов холодного прокатування і конкретних вимог, що пред'являються до якості продукції, можуть бути різноманітними і формулюватися по-різному. Задоволення критерію (або критеріям) оптимізації дозволяє знайти той найкращий режим обтискань, для реалізації якого необхідні цілком певні (найменші) витрати. У зв'язку з цим, на наш погляд, мінімізація витрат при виконанні всіх обмежень може служити найбільш універсальним критерієм оптимізації. При цьому, використовувані в даний час критерії оптимізації по "продуктивності", "точності", "температурі" і т.д. повинні розглядатися як обмеження. Зупинимося докладніше на технологічних обмеженнях, використовуваних

при розробці режимів обтискань на безперервних станах холодного прокатування. Якнайповніші це питання досліджений Л.А.Кузнецовим. При розрахунку режимів обтискань автор використовував наступні обмеження: по максимальній силі прокатування; по максимальному моменту прокатування; по максимальній потужності прокатування; по максимальній швидкості прокатування; по питомих натягненнях з умови відсутності тієї, що пробуксувала в останній кліті; по питомих натягненнях з умов максимальної стійкості форми штаби за наявності дефектів–концентраторів ; по максимальній температурі в зоні контакту з умови стабільності ; по площинній штаби в межклетьових проміжках і на виході стану; по мінімальному обтисканню в останній кліті з умов ефективної роботи САРТ; по мікрогеометрії прокатувальної штаби; по питомих натягненнях при змотуванні штаби з умов запобігання дефектам "злипання" і "злам"; по умові постійності секундних об'ємів. Перераховані обмеження представлені у формалізованому вигляді, що полегшує їх застосування. Проте ці обмеження не відображають повністю весь спектр , що обмежують параметри технології безперервного холодного прокатування. Крім того, деякі з них вимагають додаткового уточнення і конкретизації. Сучасна теорія холодного прокатування і накопичений практичний дозволяють сформулювати наступні технологічні обмеження при розрахунку режимів обтискань на безперервних станах стосовно стаціонарного симетричного процесу.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Критерії і методи оптимізації режимів прокатки

Мета оптимізації режимів обтисків при холодній прокатці полягає в тому, щоб за наявними даними про підкат і вимогам до якості продукції визначити такий режим прокатки, який забезпечить максимальну продуктивність. Основними етапами рішення задачі оптимізації є вибір і математичний опис критерію оптимізації, визначення обмежень, що накладаються на технологічні параметри, вибір методу оптимізації, розробка відповідного алгоритму і його використання.

Критерії оптимізації. Як відомо, в даний час не існує єдиної методики вибору режиму обтиску при холодній прокатці. Для того, щоб вибрати оптимальний режим, необхідно сформулювати критерій оптимальності. Питання вибору і використання таких критеріїв розглянуті, наприклад, в роботах [5-8].

Як стратегії оптимізації використовують:

а) умова досягнення максимального ступеня деформації штаби

$$\mu_c = \prod_{i=1}^n \frac{h_{oi}}{h_{li}} \rightarrow \max$$

де h_{oi} , h_{li} — товщина штаби відповідно на вході і виході в кожному i -м пропуску;

б) умова досягнення максимальної продуктивності стану [7]

$$\Pi = \sum_{i=1}^n (A_i v_i) \rightarrow \max$$

де A_i, v_i - відповідно маса 1 м погонної довжини штаби і швидкість прокатки в кожному i -м пропуску;

в) умова забезпечення мінімальної питомої енергоємності процесу прокатки

$$\mathcal{E}_\Sigma = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \rightarrow \min$$

де \mathcal{E}_i — питома енергоємність прокатки штаби в кожному i -м пропуску;

г) умова досягнення мінімальної подовжньої різнотовщиності штаби [7]

$$K_g = \prod_{i=1}^n K_i \rightarrow \max$$

де K_i — коефіцієнт вирівнювання подовжньої різнотовщиності штаби в кожному i -м пропуску;

д) умова забезпечення пласкої штаби [7]

$$\frac{\Delta h_i}{h_i} = \text{const}$$

де $\Delta h, h_i$ — відповідно поперечна різнотовщиність і товщина штаби на виході в i -м пропуску.

Практично всі перераховані критерії побічно або безпосередньо залежать від характеру вантаження клітей стану по зусиллю або потужності прокатки. Тому цілком логічно, щоб ступінь або характер вантаження клітей стану регламентувалися, що відкриває можливість оптимізації по різних критеріях. До таких критеріїв відносяться задане навантаження клітей стану по зусиллю прокатки, по моменту, що крутить, на робочих валках, а також по повному або пропорційному використанню потужності головних приводів

клітей [3]. Завантаження тут і далі відноситимемо до таких параметрів, як зусилля, момент і потужність прокатки, а за коефіцієнт завантаження вважатимемо відношення одне з перерахованих параметрів до максимально допустимому.

Для математичного запису критерію оптимальності, що відображає рівномірний розподіл навантажень по клітках стану, використано рішення відомої задачі про максимальну площу прямокутників з однаковим периметром, що полягає в тому, що максимальну площу має той прямокутник, сторони якого рівні. Математичний вираз для критерію оптимальності має такий вигляд:

$$F = \prod_{i=1}^n \left(k_i \frac{Q_o}{Q_i} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad F \rightarrow \min = n$$

де $Q_c = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{k_i} n$ - число клітей стану (пропусків штаби);

k_i - числа, задаючі співвідношення навантажень по клітках стану (пропускам штаби) або коефіцієнти завантаження;

Q_c — умовне сумарне навантаження по стану;

Q_i — навантаження в i -й кліті.

Даний критерій оптимальності повинен прагнути до мінімуму, рівного числа клітей стану (пропусків штаби).

Можливе використання і іншого критерію оптимальності, який є сумою абсолютних значень різниць навантажень в i -й і $(i+1)$ -й клітках (пропусках штаби), який при рівномірному завантаженні прагнучиме до нуля:

$$F = \sum_{i=2}^n \left| \frac{Q_i}{k_i} - \frac{Q_{i-1}}{k_{i-1}} \right|, \quad F \rightarrow \min = 0$$

або таких критеріїв, як середньоквадратичне відхилення або дисперсія навантажень щодо середнього значення.

Методи оптимізації. Наявність математичного опису критерію оптимізації дозволяє використовувати відомі методи вирішення її завдань. Для вирішення поставленого завдання розглянемо метод крутого сходження по градієнту функції відгуку (метод Боксу — Уїлсона) [26], а також ітераційний метод.

Градiєнтний метод припускає, що функція відгуку безперервна, однозначна і не має особливих крапок. З векторного аналізу відомо, що рух у напрямі градієнта — це рух по найкоротшому, найбільш крутому шляху. Якщо частину поверхні відгуку описати лінійним рівнянням, то приватні похідні дорівнюватимуть коефіцієнтам рівняння регресії [26]:

$$y = i \frac{y}{x_1} + j \frac{y}{x_2} + \dots + k \frac{y}{x_k} \quad (2.1)$$

де i, j, \dots, k — одиничні вектори (орты) у напрямі координатних осей.

Для руху по поверхні відгуку у напрямі крутого сходження потрібно змінювати незалежні змінні пропорційно відповідним коефіцієнтам регресії з урахуванням їх знаку. Для отримання коефіцієнтів рівняння (2.1) необхідно поставити серію дослідів, використовуючи метод дробового факторного експерименту. Знаки коефіцієнтів регресії і їх відносна величина указують напрям, руху до найбільшого значення функції відгуку, тобто розглянутого раніше критерію оптимальності. У повній робочій крапці слід поставити серію дослідів і знайти нові коефіцієнти регресії. Таким чином, реалізується покроковий процес руху до максимуму функції відгуку. В процесі застосування градієнтного методу доводиться варіювати обтисканнями тільки в $n - 1$ клітках n -клетьевого стану, так як унаслідок того що сумарна

деформація задана, обтискання по клітках стану не можна варіювати незалежно один від одного.

Число дослідів визначають по залежності $k = 2^{m-1}$, де m — число клітей стану, в яких варіюються обтискання ($m = n - 1$).

У таблиці 2.1 приведена матриця планування обчислювального експерименту з $k = 8$ дослідів, яка представляє напіврепліку повного факторного експерименту для 5-клетьового стану.

У матрицю планування входять кодові значення відносних обтисків, які визначаються по наступному співвідношенню:

$$\varepsilon_{ki} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{\delta i}}{\Delta \varepsilon_i}, \quad i = 2, 3, \dots, n$$

де $\varepsilon_{\delta i}$ — базовий рівень відносного обтискання в i -клеті;

$\Delta \varepsilon_i$ - інтервал варіювання обтисків в i -й кліті.

Таблиця 2.1 – Матриця планування обчислювального експерименту для 5-кліткового стану

Номер дослідів	ε_{k2}	ε_{k3}	ε_{k4}	ε_{k5}	Значення F
1	+	+	+	+	$F1$
2	+	-	+	-	$F2$
3	-	-	+	+	$F3$
4	-	+	+	-	$F4$
5	+	+	-	+	$F5$
6	+	-	-	-	$F6$
7	-	-	-	+	$F7$
8	-	+	-	-	$F8$

У останню колонку таблиці 2.1 записані значення критерію оптимальності F , отримані у відповідному досліді. У кожній серії дослідів визначаються значення коефіцієнтів регресії b_i :

$$b_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{\varepsilon_{ki}^j}{F_j}, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (2.2)$$

де $j = 1, 2, \dots, k$ – номер досліді.

Отримавши лінійну модель вигляду

$$\frac{1}{F} = b_1 + b_2 \varepsilon_{k2} + \dots + b_n \varepsilon_{kn}$$

рухаються по градієнту функції відгуку F у пошуках оптимуму. Для цього вибирають крок руху по градієнту

$$\delta \varepsilon_i = b_i \Delta \varepsilon_i$$

Потім вибирають чинник, для якого $\delta \varepsilon_i$ виявилася найбільшою по абсолютній величині, і знаходять відношення

$$c_i = \left| \frac{\delta \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \right|_{\max}$$

для всіх оптимізуючих чинників. Отриманим таким чином коефіцієнтам пропорційності c_i приписують знаки, відповідні знакам коефіцієнтів регресії в рівнянні (2.2).

Для чинників з найбільшим твором $\delta \varepsilon_i$ вибирають інтервал варіювання для руху по градієнту. Інтервал решти всіх чинників $\delta \varepsilon_i$ отримують,

умножаючи величину вибраного інтервалу на коефіцієнт c_i . Вибір інтервалу варіювання цілком залежить від інтуїції дослідника.

Потім необхідно виконати серію дослідів руху у встановленому напрямі по поверхні функції відгуку F . В процесі переходу до базового рівня обтискань ε_{δ} додається крок $\delta\varepsilon_i$ до тих пір, поки значення критерію F не почне збільшуватися. Значення відносних обтисків ε_i передування моменту збільшення критерію F , береться за базовий рівень нового факторного експерименту, але вже із зменшеним інтервалом варіювання. Алгоритм розрахунку повторюють до тих пір, поки значення $|F - n|$ не досягне заданого ступеня точності.

Розглянутий алгоритм характеризується відомою складністю і вимагає значних витрат машинного часу, отже, його використання доцільне, в основному, для попередніх розрахунків режимів обтискань. Проте для їх коректування в реальному масштабі часу градієнтний метод Бокса-Уїлсона стає неприйнятним. В цьому випадку потрібні методи, що володіють набагато вищою швидкістю збіжності.

Метод простої ітерації. Розглянемо алгоритм ітераційного методу оптимізації режиму обтискань згідно заданому коефіцієнтами k_i розподілу навантажень по клітках стану. Шуканий режим обтиску повинен забезпечувати тотожність

$$\frac{Q_1}{k_1} = \frac{Q_2}{k_2} = \dots = \frac{Q_n}{k_n} \quad (2.3)$$

У загальному випадку навантаження на 1-му кроці ітераційного процесу Q_i , отримані при початковому розподілі обтискань ε_i , не задовольняють співвідношенню (2.3). Тому слід скоректувати обтиск в клітках стану. Це зручно зробити, якщо припустити прямо пропорційну залежність навантаження від обтиску

$$\frac{\varepsilon_i'}{\varepsilon_i''} = \frac{Q_i'}{Q_i''}$$

де ε_i' , ε_i'' — відносні обтискання для i -ї кліті в 1-ій і 2-ій ітераціях; Q_i' , Q_i'' — навантаження в i -ї кліті, отримані при 1-ій і 2-ій ітераціях.

Поправочний коефіцієнт обтиску в i -ї кліті, починаючи з 2-го кроку ітераційного процесу, визначають як відношення умовного середнього навантаження по стану до навантаження в досліджуваній кліті (з урахуванням прийнятого коефіцієнта завантаження), отриманим на попередньому кроці:

$$a_i'' = Q_c' \frac{k_i}{nQ_i'} \quad (2.4)$$

де Q_c' — умовне сумарне навантаження по стану, що розраховується на кожному ітераційному кроці. При цьому навантаження на наступному ітераційному кроці Q_i'' повинне прагнути до відношення $Q_c' \frac{k_i}{n}$.

Новий орієнтовний розподіл обтиску $\varepsilon_{\delta i}''$ розраховують по формулі

$$\varepsilon_{\delta i}'' = a_i'' \varepsilon_{\delta i}' \quad (2.5)$$

Для підвищення швидкості збіжності вводять коефіцієнт релаксації k_p , а для обліку аномального впливу обтиску на навантаження передбачається можливість зміни знаку приросту ступеня деформації за наслідками попереднього ітераційного кроку. Знак приросту обтиску в кожній кліті відповідає знаку приросту навантаження і обтиску попереднього кроку:

$$k_{ni}'' = \text{sign}\{(Q_i'' - Q_i')(\varepsilon_i'' - \varepsilon_i')\} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_i'' = \varepsilon_i' \left[1 + k_{ni}'' k_p \left(\frac{Q_{cp} k_i}{Q_i} - 1 \right) \right]$$

де k_p - коефіцієнт релаксації (у першому наближенні може бути прийнятий 0,5...1);

Q_{cp} — умовне середнє навантаження по стану.

Орієнтовні обтиски $\varepsilon_{\sigma i}''$ перераховують у фактичні ε_i'' і проводять черговий розрахунок навантажень Q_i'' . На підставі набутих значень Q_i'' знову коректують обтиск по формулах (2.4)-(2.6), і процедура повторюється до тих пір, поки не буде досягнута задана точність критерію оптимальності.

Число ітерацій практично не залежить від числа клітей стану. Це вигідно відрізняє даний метод оптимізації від градієнтного. Така висока збіжність ітераційного методу оптимізації дозволяє застосовувати його в системах початкового налаштування, динамічної перебудови стану, автоматичного регулювання товщини штаби, а також швидко і з високою точністю проводити обчислювальні експерименти по оптимізації режимів обтискань.

Режим обтиску, що забезпечують в загальному випадку рівномірний розподіл зусиль по клітях стану, якнайповніше відповідає вимогам отримання холоднокатаної штаби високої якості на сучасних станах, оснащених комплексом засобів оперативного управління товщиною, профілем і формою штаб. Він забезпечує стабільне отримання площинних штаб і близький до мінімальної енергоємності процесу.

Таким чином, на підставі аналізу двох викладених методів оптимізації режимів обтисків при багатопрхідній прокатці можна укласти, що найбільш ефективним є ітераційний метод, що володіє найбільшою швидкістю збіжності. Цей метод з успіхом може бути використаний в АСУ станами безперервного прокатки. За допомогою розрахунків встановлено, що найбільшою технологічністю і ефективністю володіє оптимізаційний

критерій рівномірного завантаження клітей по зусиллю прокатки, і це підтверджено практикою листопрокатного виробництва.

2.2 Комп'ютерна система розрахунку параметрів і оптимізації процесу холодного прокатки

Розроблена на підставі описаних вище математичних моделей процесу холодного тонколистового прокатки комп'ютерна система «Холодна прокатка» («ColdRolling») призначена для дослідження і оптимізації процесів безперервної і реверсивної холодного прокатки тонколистової сталі. Система включає оболонку, що забезпечує зручний діалог з комп'ютером на англійській і російській мовах і можливість модифікації системи допомоги з урахуванням рівня користувача і характеру вирішуваних завдань, обчислювальне ядро і довідкові дані по хімічному складу, механічним і фізичним властивостям сталей різних марок, фізичним характеристикам вживаних технологічних і емульсій.

Система дозволяє здійснювати:

— розрахунки параметрів, що описують зміну межі текучості залежно від ступеня деформації, а також прогнозування цих параметрів по хімічному складу і структурі сталі;

— розрахунки температурних і енергосилових параметрів процесу холодного прокатки, показників точності, площинної і мікрогеометрії поверхні штаби, профілізацій валків, кількості COP, що подається;

— оптимізацію режимів прокатки з метою підвищення площинності штаб, продуктивності стану, зниження енергоємності процесу з урахуванням комплексу обмежень на основі розроблених критеріїв і нового швидкодіючого алгоритму оптимізації;

— аналіз можливостей прокатки в аварійних ситуаціях на стані (без однієї або декількох клітей);

— визначення можливостей прокатки сталей різних марок в умовах

існуючого і проєктованого устаткування, визначення кінцевої товщини штаби при заданій початковій, і навпаки, а також розробку оптимальних режимів прокатки.

Система передбачає розгалужену логіку управління модельованим процесом, забезпечує графічне і табличне представлення результатів, дружній інтерфейс, розрахунок параметрів в двох системах фізичних одиниць (СІ, МКС).

Програма дозволяє вибирати вид завдання натягнення — питомі, абсолютні, в долях (відсотках) від межі текучості. Наприклад, натягнення штаби перед 1-ою кліттю зручно задавати в абсолютних величинах, міжклітьові натягнення - в долях (відсотках) від значення межі текучості штаби в, даному міжклітьовому проміжку, а натягнення за останньою кліттю безперервного стану — в питомих. Це пов'язано з традиційними уявленнями про оптимальні значення цих параметрів, що забезпечують стійкість технологічного процесу і якість штаби на різних ділянках стану. При цьому зберігається можливість завдання будь-яких варіантів натягнення на ділянках стану. Програма передбачає автоматичний перерахунок натягнення, заданого в одному з видів, в два інших вказаних вище за вигляд. Передбачена також можливість завдання натягнення у вибраному вигляді із зміною їх по обумовленому закону, що вельми важливе для мінімізації міжвиткового тиску за умови телескопічності і просідання рулону холоднокатаної штаби (натягнення змотування).

У режимі розрахунку і оптимізації натягнення, коли обтиск залишаються постійними, є можливість фіксувати ті натягнення, які змінюватися не будуть. Наприклад, натягнення перед 1-ою кліттю, коли на вході відсутній S-образний натягач, змінити неможливо. У разі його застосування значення натягнення можна проаналізувати на відповідність заданому діапазону (наприклад, не менше 5 і не більше 60% від межі текучості). Таким чином, система враховує директиви дослідника в зручному для нього вигляді.

Заданий базовий розподіл обтиску коректується з урахуванням фіксованих значень початкової і кінцевої товщини штаби. При цьому введені співвідношення між базовими обтисками по клітках стану зберігаються. Це полегшує завдання базового режиму обтиску на стадії підготовки даних для розрахунку. Паралельно надається можливість коректування товщини штаби по клітках стану (пропускам). Є можливість фіксації обтиску, які в процесі оптимізації коректуватися не будуть, а сприймаються системою як директива. Введення нульового обтиску з його фіксацією відповідає режиму прокатки в аварійній ситуації без однієї або декількох клітей. Якщо необхідно розрахувати обтиск, визначити або оптимізувати натягіння, то при фіксації обтиску у всіх клітках відразу передбачена расфіксація обтиску у всіх клітках. Якщо розраховується кінцева товщина штаби, то в результаті фіксації обтиску одночасно у всіх клітках коректується товщина на виході. І навпаки, в режимі розрахунку товщини підкату коректується вхідна товщина штаби. Програма передбачає завдання коефіцієнта тертя, його розрахунок залежно від умов прокатки, характеристик технологічного і робочих валків, а також зворотний перерахунок по експериментально певних зусиллях прокатки. Можливі різні комбінації по клітках стану або пропусках штаби. Наприклад, в 1-ій клітці можна задати коефіцієнт тертя, в інших клітках він може бути розрахований по вибраному алгоритму. При розрахунку коефіцієнта тертя, якщо ітераційний процес розрахунку зусилля прокатки не сходиться, є можливість коректування коефіцієнта релаксації, який визначає збіжність процесу. Передбачено дві методики розрахунку коефіцієнта тертя (закон Амонтона): а) аналітичне рішення на підставі емпіричних залежностей і рекомендацій [1] з урахуванням шорсткості валків і концентрації емульсії; б) зворотний перерахунок коефіцієнта тертя по заміреним на промисловому стані зусиллям прокатки, чисельне вирішення основного рівняння прокатки з урахуванням температурно-швидкісного фактору при розрахунку опору деформації за допомогою множинного регресійного аналізу. Обидва ці

рішення припускають розрахунок середньоінтегрального значення коефіцієнта тертя.

Зусилля примусового вигину робочих валків в одному випадку задаються як параметр, щодо якого розраховуються профілізації робочих валків. У іншому випадку зусилля вигину розраховуються залежно від заданих профілізацій валків з урахуванням обмежень.

Система дозволяє моделювати чотири основні етапи прокатки рулону (заправка переднього кінця, сталий процес, прокатки зварного шва, видача заднього кінця). Коректуючи відповідним чином швидкість і послідовно варіюючи етапи прокатки рулону, можна оцінити зміни енергосилових параметрів процесу, а також визначити необхідні параметри налаштування і перебудови стану.

Для дослідження результатів зміни налаштування безперервного стану надається можливість коректувати його параметри налаштування шляхом пропорційної зміни швидкості обертання валків робочих клітей, співвідношення швидкостей по клітях щодо останньої, а також позицій натискних пристроїв. Разом з тим передбачена імітація роботи САРТiН із завданням товщини штаби на виході із стану і міжклітьових натяжінь. Для досягнення різних цілей передбачені наступні види розрахунків: 1) без оптимізації параметрів (з урахуванням описаних вище різних ключів і їх комбінацій), наприклад: розрахунок параметрів прокатки по введених параметрах технології, розрахунок коефіцієнтів тертя; 2) з оптимізацією обтиску, натяжіння швидкості по вибраному критерію, наприклад, з метою забезпечення заданих коефіцієнтів завантаження (по зусиллю, моменту, потужності прокатки) і визначення раціонального режиму прокатки для вибраних профілізацій валків; 3) товщина штаби на вході в стан або виході з нього виходячи із заданих зусиль прокатки, наприклад: розрахунок раціональної товщини або мінімальної вихідної товщини штаби для вибраного марочного і розмірного сортаменту підкату; 4) міжклітьових натяжінь, товщини штаби по клітях стану (пропускам) і інших параметрів

прокатки за завданням налаштування стану (швидкості обертання валків, позиції натискних гвинтів, натягнення на вході і виході стану); 5) коефіцієнтів адаптації моделі ОД.

Передбачений ряд підходів до розгляду ОД, кожен з яких має свою сферу найбільш обґрунтованого застосування. Перша (спрощена) модель ОД придатна при розгляді процесу прокатки штаб товщиною 0,5 мм і більш в робочих валках діаметром до 250 мм. Передбачається, що пластична деформація відбувається по всій довжині ОД. Друга модель включає перехід за ЛЦВ в область пружного відновлення робочих валків і штаби. Ця модель застосовна при розгляді процесу прокатки особливо тонких штаб і жерсті в робочих валках діаметром 200 мм і більш. Прийнята еліптична зміна інтенсивності за ЛЦВ до виходу штаби з ОД від подвоєного опору чистому до нуля. Обидві ці моделі мають чисельне . Третя модель ОД аналітична безітераційна [24]. Четверта модель ОД аналітична ітераційна [7]. Два останні відрізняє висока швидкість обчислень і можливість адаптації до будь-якої з перших два. Передбачений поточний перегляд геометричних і силових параметрів ОД.

Коефіцієнт адаптації по зусиллю прокатки при середньому контактному тиску P_{cp} враховує погрішності розрахунку опору деформації штаби і напруженого полягання в ОД. При чисельній інтеграції ОД (перша і друга моделі) P_{cp} обчислюється точніше через розрахункові значення зусилля прокатки і довжини дуги контакту валків із штабою. Розрахунок моменту прокатки у всіх рішеннях приводиться до єдиного вигляду

$$M = 2P\psi l_0 + R(T_0 - T_1)$$

де P — зусилля прокатки;

ψ — коефіцієнт плеча рівнодіючої сили в ОД;

R - радіус робочих валків;

T_0, T_1 — повні задне і передне натягнення.

При чисельній інтеграції ОД (перша і друга моделі) коефіцієнти δ обчислюються через розрахункові значення моменту, зусилля прокатки і довжину дуги контакту. Коефіцієнт адаптації по моменту прокатки враховує погрішність розрахунку ψ . Коефіцієнт адаптації за розрахунком випередження враховує погрішності обчислення коефіцієнта нейтрального кута, що є відношенням нейтрального кута до кута контакту α , а також товщина штаби в нейтральному перетині. Адаптацію моделі виконують в два етапи. Спочатку відшуковують коефіцієнт адаптації при P_{cr} , а потім з урахуванням отриманого коефіцієнта знаходять два інших, що є функціями першого. Комплекс коефіцієнтів адаптації забезпечує зниження до мінімуму розбіжності в розрахунках енергосилових і кінематичних параметрів прокатки одного з вибраних моделей ОД щодо іншої або щодо експериментальних значень.

Застосований метод високошвидкісної оптимізації режиму обтиску оперує рядом методів корекції обтиску. Залежно від вибраної стратегії оптимізації коректувати базові обтиски можна відповідними коефіцієнтами при витяжках, відносних, абсолютних або дійсних обтисках. Перший з використовуваних методів припускає коректування відносних обтисків відповідними розрахунковими коефіцієнтами, але уточнюються обтиск на кожному ітераційному кроці з використанням принципу мультиплікації витяжок. Другий метод припускає коректування розрахунковими коефіцієнтами абсолютних обтисків, а уточнення обтиску ведуть з використанням принципу аддитивності абсолютної деформації. Третій метод припускає коректування розрахунковими коефіцієнтами дійсних обтисків, а уточнюють обтиску з використанням принципу аддитивності дійсної деформації. Четвертий метод припускає ітераційну процедуру з уточненням поправочного коефіцієнта при відносних деформаціях, який, у свою чергу, є функцією заданої і отриманої кінцевої товщини штаби. П'ятий метод реалізує коректування розрахунковими коефіцієнтами відносних деформацій, а їх

уточнення ведуть наближеним методом заміни логарифмічній деформації поліномом 2-го ступеня, в якому змінною є відносна деформація.

При оптимізації по різних критеріях швидкість пошуку оптимального режиму прокатки з використанням передбачених методів різна. Основними є перший, третій і п'ятий методи. Третій метод рекомендується для оптимізації режимів прокатки штаб товщиною 1,5 мм і більш, коли функцією відгуку є потужність прокатки. П'ятий метод використовується у випадках, коли обтиск в останній кліті складає 5 % і менш і процес прокатки найбільш тонких штаб проходить на межі невикативаємості. Для завдання співвідношень між параметрами, що оптимізуються, по клітях стану (пропускам) відповідно до вибраного критерію використовуються відповідні коефіцієнти K_i . Замість цих коефіцієнтів можливе завдання орієнтовних значень параметрів. Програма забезпечує бажані співвідношення між ними. При оптимізації процесу з метою забезпечення площинної штаби в клітях безперервного стану замість K_i вводяться фактичні профілізації робочих валків. В цьому випадку програма не розраховує необхідну профілізацію робочих валків по клітях стану, при якій штаба має плоску форму. Працюючи в режимі без оптимізації, вона відповідає на питання, після якої кліті виникає неплщинність, який її характер. Значення неплщинності штаби розраховується в різних одиницях (мм/м %, вживаних в світовій практиці 1-единицах). У режимі роботи з оптимізацією програма шукає такий режим прокатки, який забезпечує площинну штаби на виході із стану і у всіх міжклітьових проміжках з пріоритетом подальшого щодо попереднього. У разі неточно вибраної профілізації валків і небажаності їх перевалки, а також відсутності пристроїв примусового вигину валків можливий розрахунок режиму прокатки із зміною розподілу обтискань або натягнень в заданих межах. Система дозволяє оперативно втручатися в процес оптимізації режиму прокатки, відмінити його, проглядати комплекс поточних результатів в табличному і графічному уявленнях. Шуканий режим визначається комп'ютером за три-п'ять циклів розрахунків параметрів прокатки. При знятті

параметрів, що оптимізуються, безпосередньо із стану (без виконання їх розрахунку) метод дозволяє оптимізувати процес прокатки в реальному масштабі часу.

При дослідженні процесу реверсивного прокатки важливим є визначення раціонального числа пропусків штаби, що забезпечують максимальну продуктивність стану і мінімальну енергоємність процесу. У випадках, коли потужність приводу не є обмежуючим, збільшення швидкості прокатки, скорочення кількості пропусків штаби підвищує продуктивність і знижує енергоємність процесу. Інакше розрахунок ведуть з урахуванням обмежень. Особливість прокатки на реверсивному стані кварто полягає також в тому, що в кожному пропуску штаби використовується одна профіліровка валків, тому режими деформації мають бути такими, щоб в кожному пропуску було забезпечено рівність витяжок по ширині штаби. В цьому випадку робота системи гідравлічного вигину валків буде націлена на оперативне коректування в автоматичному режимі активної створюючої валків. В той же час швидкісний режим прокатки повинен забезпечувати раціональне (рівномірну) завантаження головного приводу стану по потужності в кожному пропуску штаби.

Система також дозволяє здійснювати поетапну оптимізацію режимів прокатки, тобто як базові параметри на n етапах можуть використовуватися розраховані раніше швидкості прокатки, обтиск, натягіння, профіліровка робочих валків, зусилля примусового вигину, коефіцієнт тертя, сила прокатки. При цьому представляється можливість запису і збереження результатів розрахунків і протоколів програми прокатки у фізичних одиницях СІ, МКС (у повному або скороченому об'ємі) і англійською мовою в СІ. Як правило, час розрахунку з використанням системи «Cold Rolling» складає до 1-5 із залежно від кількості клітей стану, віддаленості базової програми прокатки від шуканої, а також її кореспондируемості з гранично допустимими значеннями параметрів процесу для конкретного стану.

2.3 План проведення експериментальних досліджень

Складання плану експерименту

При складанні плану повного факторного експерименту треба стежити, щоб не було повторів.

Таблиця 2.2 - Матриця повного факторного експерименту 2^3

План	Номер дослід	x_0	x_1	x_2	x_3
2^2	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	-1
	3	1	1	-1	1
	4	1	1	-1	-1
2^3	5	1	-1	1	1
	6	1	-1	1	-1
	7	1	-1	-1	1
	8	1	-1	-1	-1

Фактор, що по значеній « x_0 » - так називаємо фіктивну зміну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнта – « b_0 ». Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожному стовпці знаходилося рівне число мінусів та плюсів. Умова виконується.

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

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{0i} - Y_0)^2}{f_1},$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля

Y_{0i} – значення параметра оптимізації в i -ом дублі;

Y_0 – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число мiр свободи ($f_1 = n-1$)

Для визначення дисперсії дослiду було організовано дослiди 9 -11 на основному рiвнi.

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

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{x_{jn} \cdot Y_n}{N},$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії;

x_{jn} – значення j -го чинника в n -ом дослiдi в кодованому виглядi;

Y_n – значення параметра оптимізації в n -ом дослiдi;

N – число дослiдiв в матриці планування.

В результаті одержують модель, яка має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджування пористості інтерметалідів.

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

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

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}};$$

t_{α, f_1} – значення критерію Стьюдента, яке вибирається залежно від рівня значущості α і числа мір свободи при визначенні дисперсії досліджуваної функції f_1 .

Значення коефіцієнтів регресії порівнюємо з довірчим інтервалом, і ті що виявляються по абсолютній величині менше довірчого інтервалу, виключаємо з рівняння.

2.4 Отримання математичної моделі оптимізації режиму прокатки

Завдання математичного планування експерименту полягає в дослідженні впливу наступних параметрів (сумарного обтиску та режиму обтиснення) на сумарний ступень запасу пластичності при прокатуванні на НШСХП 1680 з метою оптимізації режиму деформації холоднокатаної штаби зі сталі Ст.1, сталь 20 і 12Г2А.

Фактори - це змінні, що вар'їруються в завданні, які впливають на зміну параметра оптимізації - оптимізуємі властивості. При рішенні завдань оптимізації чудові результати дає метод Бокса-Уілсона.

Метод Бокса-Уілсона включає два етапи:

1) У локальній області зміни факторів навколо центра (основного рівня) начального експерименту за допомогою методу дробових реплік будують лінійну математичну модель процесу.

2) У випадку успіху першого етапу по градієнті отриманої моделі здійснюють круте сходження до області оптимуму.

Загальна схема рішення завдання методом Бокса-Уілсона включає наступні етапи:

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ. Починати треба із формулювання мети дослідження. Формулювання мети припускає насамперед вибір параметра оптимізації. Якщо доводиться оптимізувати одночасно кілька характеристик, то або зводять кілька параметрів оптимізації до одного, або вирішують компромісне завдання. Потім вибирають фактори. Якщо факторів багато (8-10 і більше), то частину їх відсівають експериментальним шляхом. У даному випадку математичного планування факторів, що впливають буде три. Далі вибирають основний (нульовий) рівень і інтервали варіювання факторів. Інтервал варіювання повинен бути більше подвоєної середньоквадратичної помилки у визначенні фактора.

Параметр оптимізації:

Y_1 – сумарний ступень використання ресурсу пластичності сталі Ст.1.

Y_2 – сумарний ступень використання ресурсу пластичності для сталі 20.

Y_3 – сумарний ступень використання ресурсу пластичності для сталі 12Г2А.

Завдання оптимізації вирішується у два етапи: на першому здійснюється пошук області оптимуму, для чого застосовується лінійна модель поверхні відгуку; на другому - описи оптимальної області.

Досліджувані фактори, характер їхніх змін і схеми кодування наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	h_{Σ} , мм	Шорсткість валків, мкм	Ступень деформації (ϵ), %
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	1,9	1,0	25
Інтервал варіювання	0,2	0,5	5
Нижній рівень (кодоване значення -1, -)	1,7	0,5	20
Верхній рівень (кодоване значення +1, +)	2,1	1,5	30

Для побудови плану дробового факторного експерименту в роботі [1] з таблиці 4.3 вибираємо дробову репліку 2^3 наступного виду: abc, c, a, b. Записуємо дробову репліку в розгорнутому виді (табл.2.1). Це необхідно, щоб уникнути повторів дослідів.

Дробова репліка має 8 дослідів, що більше кількості факторів на 5, умова виконується.

Фактор, позначений « X_0 » – так називаємо фіктивну змінну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт « b_0 ».

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

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досвіди варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії досвіду S_y проводимо по формулі (2.7):

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} \quad (2.7)$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля;

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

Y_o – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число ступенів волі ($f_1 = n - 1$).

Під кількістю ступенів волі (варіантністю) системи визначають кількість зовнішніх та внутрішніх факторів, що впливають на стан системи (температуру, тиск, концентрацію), яке можна змінити без зміни кількості фаз в системі.

Для визначення дисперсії досвіду були організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації: дослід 9 – 0,527; дослід 10 – 0,528; дослід 11 – 0,530.

Визначаємо S_y^2 . Становимо розрахункову таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахункова таблиця дисперсії досвіду

Дослід	y_e	$ y_{oe} - y_o $	Δy_e^2
9	0,527	0,013	0,000169
10	0,528	0,003	0,000009
11	0,530	0,017	0,000289
	$y_o = 0,5283$		$\sum \Delta y^2 = 0,000487$

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} = \frac{0,000487}{3-1} = 0,000246 ;$$

$$f_1 = n - 1.$$

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

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (2.8)$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії;

X_{jn} – значення j -го фактора в n -ом досвіді в кодованому виді;

Y_n – значення параметра оптимізації в n -ом досвіді;

N – число досвідів у матриці планування.

У результаті одержують модель, що має такий вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j \quad (2.9)$$

У реалізованій матриці планування отримані наступні результати (табл.2.5). Результати моделювання в програмі Deform 3D представлені на рисунках 2.1-2.3.

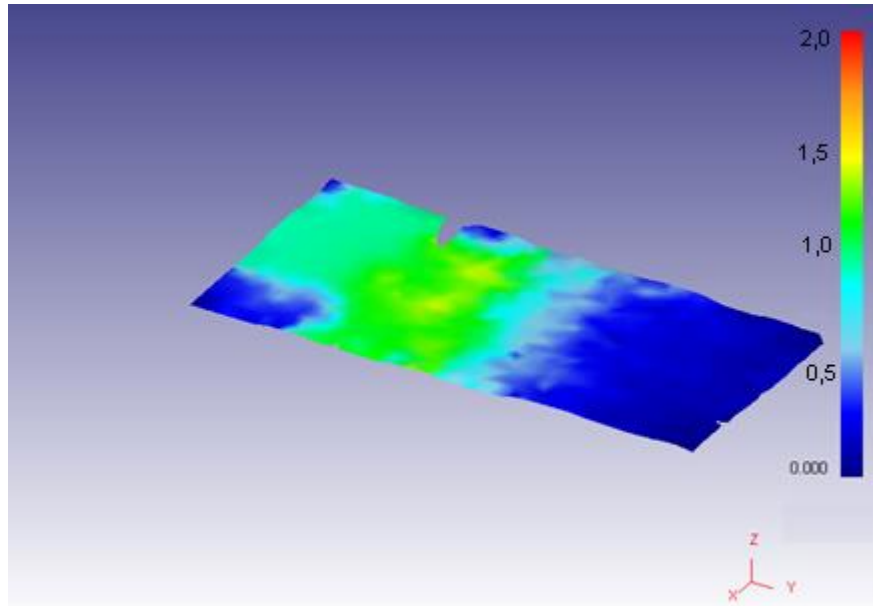


Рисунок 2.1 – Результати моделювання прокатки за дослідом 1 ($\psi=1,28$)

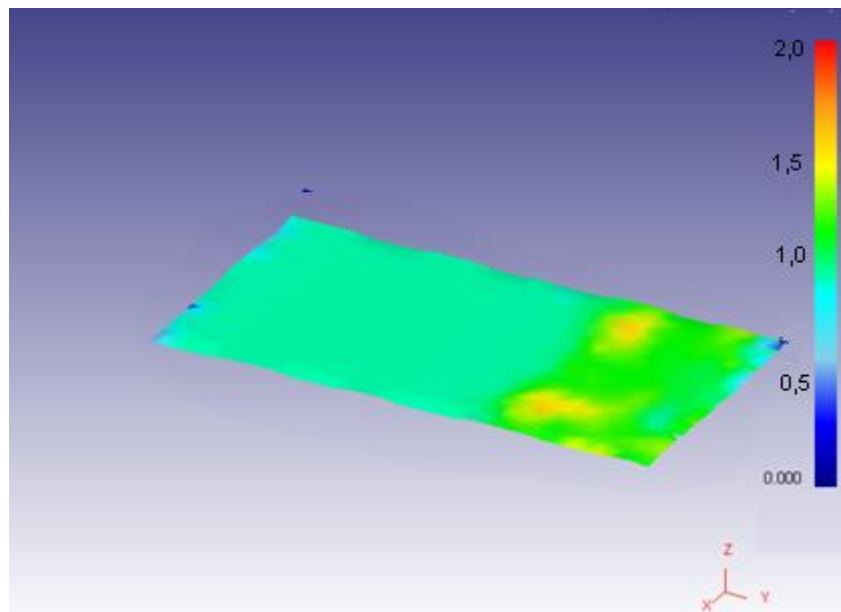


Рисунок 2.2 – Результати моделювання прокатки за дослідом 5 ($\psi=0,43$)

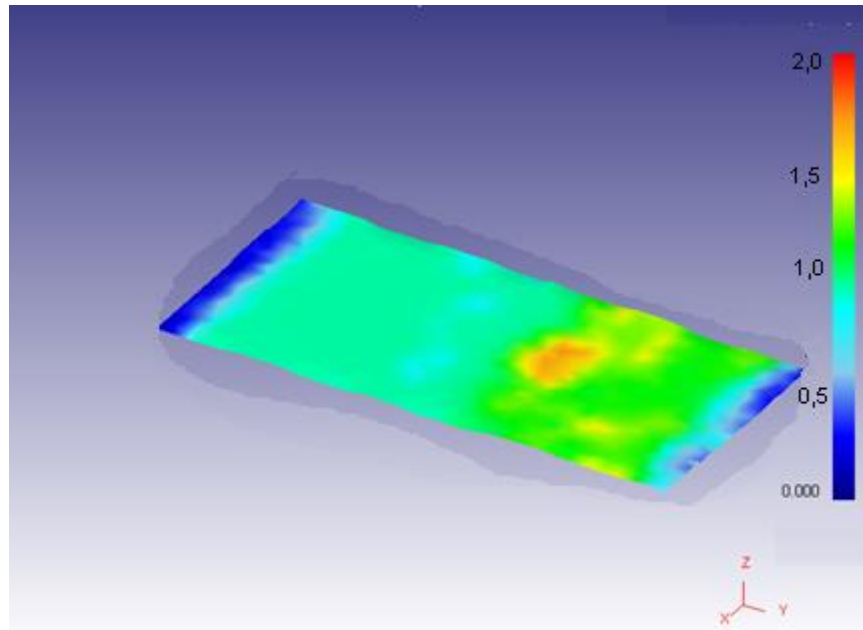


Рисунок 2.3 – Результати моделювання прокатка за дослідом 7 ($\psi=1,01$)

Таблиця 2.5 - Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Y_1	1,28	0,61	1,02	1,02	0,43	0,41	1,01	0,38
Y_2	1,26	0,63	1,03	1,03	0,47	0,42	0,95	0,41
Y_3	1,23	0,65	1,06	1,08	0,44	0,48	0,99	0,40

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей:

$$b_0 = (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7 + M_8) / 8 = (0,61 + 1,28 + 1,02 + 1,02 + 0,43 + 0,41 + 1,01 + 0,38) / 8 = 0,77$$

$$b_1 = (M_1 - M_2 + M_3 - M_4 + M_5 - M_6 + M_7 - M_8) / 8 = (1,28 - 0,61 + 1,02 - 1,02 + 0,43 - 0,41 + 1,01 - 0,38) / 8 = 0,165$$

$$b_2 = (M_1 + M_2 - M_3 - M_4 + M_5 + M_6 - M_7 - M_8) / 8 = (1,28 + 0,61 - 1,02 - 1,02 + 0,43 + 0,41 - 1,01 - 0,38) / 8 = -0,088$$

$$b_3 = (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 - M_5 - M_6 - M_7 - M_8) / 8 = (1,28 + 0,61 + 1,02 + 1,02 - 0,43 - 0,41 - 1,01 - 0,38) / 8 = 0,21$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_1 = 0,77 + 0,165 x_1 - 0,088 x_2 + 0,21 x_3$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації:

$$Y_2 = 0,80 + 0,153 x_1 - 0,080 x_2 + 0,21 x_3$$

$$Y_3 = 0,79 + 0,139 x_1 - 0,091 x_2 + 0,21 x_3$$

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

Аналіз складається із 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:

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{b_i} \quad (2.10)$$

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

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (2.11)$$

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

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

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

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0.000246}{8}} = \pm 0.0055$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ й $f_1 = 2$ значення критерію Ст'юдента, рівне 18,2 [1]. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 18,2 \cdot 0,0055 = \pm 0,01$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт « b_2 » виявився статично не значимим, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$Y_1 = 0,77 + 0,165 \cdot h_{\Sigma} + 0,21 \cdot \varepsilon_5$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації:

$$Y_2 = 0,80 + 0,153 \cdot h_{\Sigma} + 0,21 \cdot \varepsilon_5$$

$$Y_3 = 0,79 + 0,139 \cdot h_{\Sigma} + 0,21 \cdot \varepsilon_5$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх досвідів значення « X_i » у кодованому виді, які беремо з таблиці 2.2. Для визначення дисперсності неадекватності становимо розрахункову таблицю 2.3. Таблиця 2.6 становимо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх досвідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації ($y_{розр}$). Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{розр})^2}{f_2} \quad (2.12)$$

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

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють із табличним, котре вибирають із таблиці в роботі [1] залежно від рівня значимості α і числа ступенів волі f_1, f_2 .

$$F_{f_1, f_2}^{\delta i \zeta \delta} = \frac{S_{i \delta \delta i}^2}{S_y^2} \quad (2.13)$$

Таблиця 2.6 - Розрахунок дисперсії неадекватності

дослід	значення Y		Δ Y	Δ Y ²
	експериментальне	розрахункове		
1	1,28	1,145	0,135	0,018
2	0,61	0,815	0,205	0,042
3	1,02	1,145	0,125	0,017
4	1,02	0,815	0,205	0,042
5	0,43	0,725	0,295	0,087
6	0,41	0,395	0,015	0,0002
7	1,01	0,725	0,285	0,081
8	0,38	0,395	0,015	0,0002

$\Sigma = 0,287$

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N \Delta y^2}{f_2} = 0,287 / (8 - 3) = 0,0574$$

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} = 0,0574 / 0,00246 = 23,3$$

З таблиці [1] для $\alpha = 0,05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 1$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 25,25. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{розр} < F^{табл}$ виконується й нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна алюмінієвих сплавів залежно від умов термообробки. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель описує процес термообробки сплавів тільки у вивчених межах варіювання факторів.

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

Крім того, отриману залежність можна представити графічно у 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 фактора X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком «-»). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора X_1 на нижньому, основному й верхньому рівнях, тобто -1 ; 0 ; $+1$ і одержуємо шуканий графік.

Переводимо рівняння регресії у натуральні значення:

$$Y_1 = 0,77 + 0,165 \cdot \left(\frac{x_1 - 1,9}{0,2} \right) + 0,21 \cdot \left(\frac{x_3 - 25}{5} \right)$$

$$Y_2 = 0,80 + 0,153 \cdot \left(\frac{x_1 - 1,9}{0,2} \right) + 0,21 \cdot \left(\frac{x_1 - 1,9}{0,2} \right)$$

$$Y_3 = 0,79 + 0,139 \cdot \left(\frac{x_1 - 1,9}{0,2} \right) + 0,21 \cdot \left(\frac{x_1 - 1,9}{0,2} \right)$$

В результаті отримаємо остаточно наступні рівняння:

$$Y_1 = 0,825 \cdot x_1 + 0,042 \cdot x_2 - 1,85$$

$$Y_2 = 0,765 \cdot x_1 + 0,042 \cdot x_2 - 1,70$$

$$Y_3 = 0,695 \cdot x_1 + 0,042 \cdot x_2 - 1,26$$

Будуємо графічні залежності величини сумарного ступеня запасу пластичності від кожного фактора: товщини підкату та ступеня деформації у 5-тій кліті у лінійному виді (рис. 2.4-2.6).

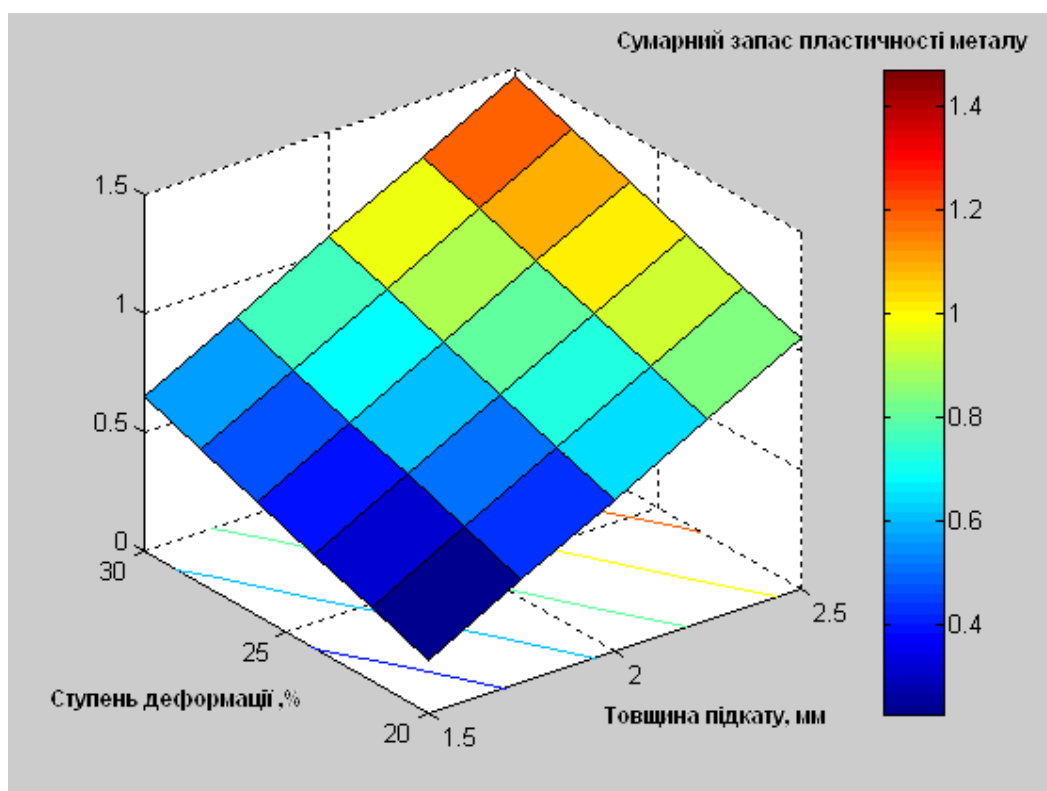


Рисунок 2.4 - Графічна залежність сумарного запасу пластичності металу від товщини підкату та ступеня деформації для штаби зі сталі Ст.1

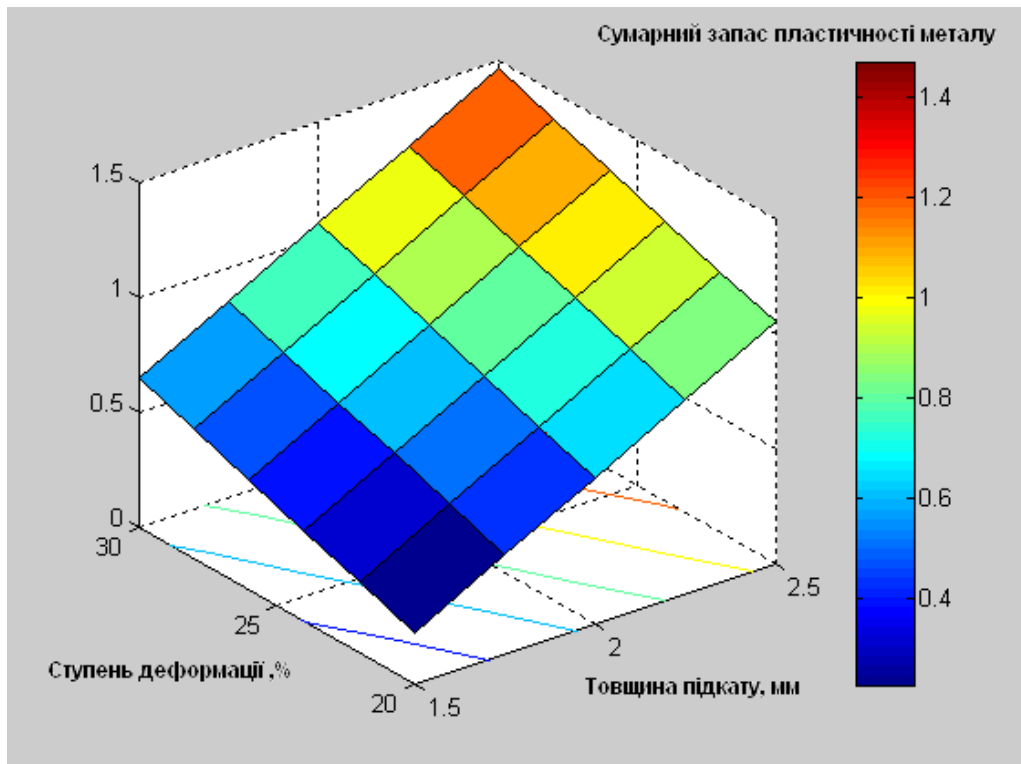


Рисунок 2.5 - Графічна залежність сумарного запасу пластичності металу від товщини підкату та ступеня деформації для штаби зі сталі 20

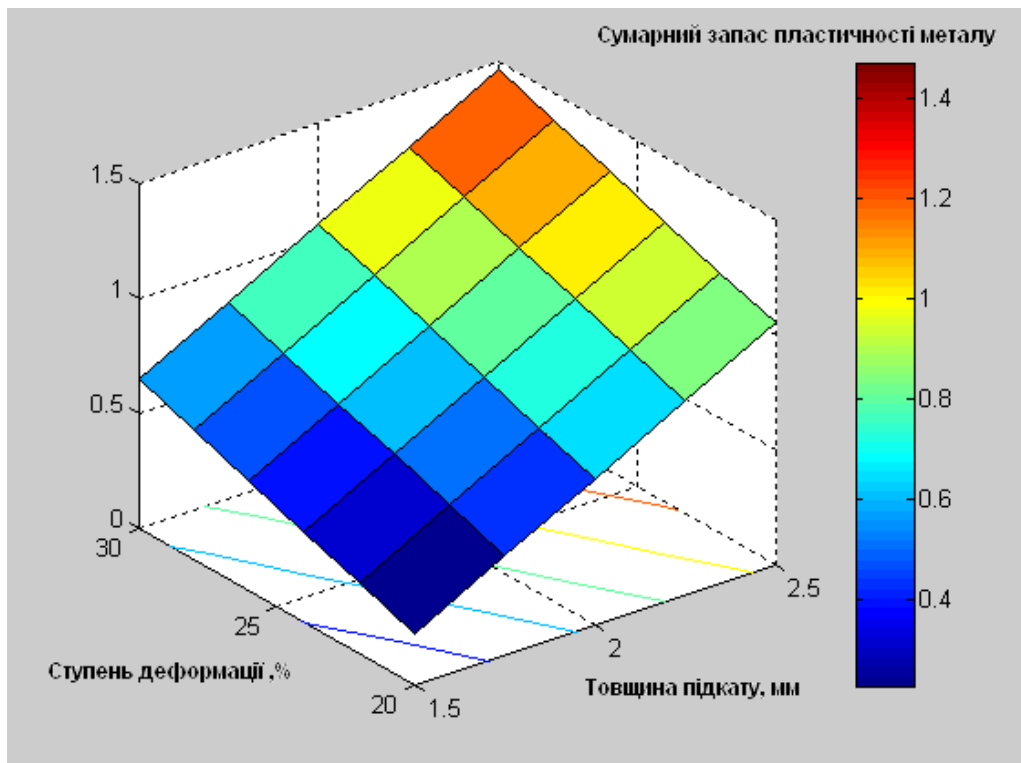


Рисунок 2.6 - Графічна залежність сумарного запасу пластичності металу від товщини підкату та ступеня деформації для штаби зі сталі 12Г2А

3 ОБРОБКА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз режимів деформації НСХП 1680 і 1700

На широкоштабових станах холодної прокатки (НСХП) відносний обтиск по клітках стану розподіляють по декількох варіантах:

- 1 - максимальний відносний обтиск призначають в першій клітці стану;
- 2 - максимальний відносний обтиск призначають в другій клітці стану;
- 3 - відносний обтиск практично однаковий в усіх клітках стану, окрім чистової, в якій воно менше;
- 4 - відносний обтиск практично однаковий в усіх клітках окрім першої, де воно менше.

У першому варіанті максимально використовують пластичні властивості гарячекатаного підкату при деформації металу в першій клітці стану при недостатній потужності електродвигунів в подальших клітках, а також при прокатці тонких штаб ($h = 0,4 - 0,5$ мм) на п'ятикліткових станах. Крім того, цей режим деформації дозволяє збільшити товщину гарячекатаного підкату і в той же час підвищити продуктивність широкоштабового стану гарячої прокатки.

Другий режим деформації штаб забезпечує вирівнювання подовжньої різнотовщинності штаби в першій клітці при порівняно невеликому обтиску ($\epsilon = 14 - 25\%$) і достатній потужності приводів в подальших клітках. Рациональний розподіл відносного обтиску в другому варіанті забезпечує прокатку штаб в 2х - 3х клітках стану з однаковим тиском металу на валки. Це дозволяє отримувати високу якість поперечного профілю штаби за рахунок однакових пружних деформацій комплекту валка і подібної форми міжвалкового зазору в клітках. Відмічені вище достоїнства забезпечуються також при використанні третього варіанту режиму деформації.

Четвертий варіант режиму деформації використовують при прокатці тонких штаб ($h = 0,4 - 0,7$ мм) з метою збільшення товщини штаби перед чистовою кліттю і зниження вірогідності пориву штаби. Сумарний обтиск при холодній прокатці визначають з урахуванням вимог, що пред'являються до якості готової продукції. Але за усіх умов величина сумарного обтиску залежить від кінцевої товщини, ширини і матеріалу штаби, можливостей прокатного стану. У першому наближенні сумарний обтиск при прокатці різних штаб можна визначити за даними таблиці. 3.1, отриманим за результатами аналізу режимів деформації на НСХП 1680 (ВАТ "Запоріжсталь"), стан 1700 Маріупольського металургійного комбінату (ММК) і стан 2030 Новолипецького металургійного комбінату (НЛМК). З таблиці. 3.1 витікає, що сумарний обтиск ε_{Σ} зменшується з підвищенням міцності сталей і збільшенням кінцевої товщини h штаби.

Таблиця 3.1 - Сумарний відносний обтиск для чотирьохклітьових станів 1680 і 1700 і п'ятиклітьового стану 2030

Група сталі	Марка сталі	Стан, розмір штаби, мм	Формули В.О. Ніколаєва для розрахунку
I	05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08Ю	1700 (1680) $H < 2$ $B < 1500$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0,834 - 0,167h$
II	15кп, 20кп, 15сп, 20сп, 15пс, 20пс	1700 (1680) $H < 2$ $B < 1500$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0,768 - 0,154h$
I	05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08Ю	2030 $H = 0,4-3,5$ $B < 1850$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0,415 + 0,096(3,5h)^{1,2}$
II	15кп, 20кп, 15сп, 20сп, 15пс, 20пс	2030 $H = 0,7-3,5$ $B = 1850$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0,365 + 0,103(3,5h)^{1,2}$

Вирази таблиці 3.1 дійсні при розрахунку максимального відносного обтиску усіх розмірів штаб по ширині для чотирьохкільцевого і п'ятикільцевого станів холодної прокатки. Проте при прокатці широких штаб зниження навантажень на устаткування досягається шляхом зменшення швидкості прокатки без зміни товщини підкату або шляхом одночасного зменшення швидкості прокатки і товщини підкату. Так, наприклад, на стані 2030 НЛМК при прокатці штаби $h = 0,7$ мм із сталі марки Ст. 2кп застосовують наступні режими залежно від ширини штаби В (табл. 3.2)

Таблиця 3.2 – Режими прокатки на стані 2030 НЛМК

В, мм	Н _о , мм	ε _Σ , %	v, м/с	Р, МН
900	2,6	73,08	27,4	6,53-9,09
1100	2,6	73,08	27,4	7,89-11,32
1250	2,6	73,08	26,3	9,72-13,0
1600	2,6	73,08	22,1	12,69-15,79
1850	2,4	70,3	16,4	13,27-18,29

Як видно з приведених даних, при прокатці вузьких штаб ($V/L_6 = 0,42 - 0,59$; L_6 - довжина бочки валка) режим деформації повністю ідентичний, а сила прокатки Р не перевищує 11,32 МН. Збільшення сили прокатки пропорційне збільшенню ширини штаби. При прокатці штаб шириною $V = 1250 - 1600$ мм ($V/L_6 = 0,61 - 0,79$) для відвертання перевантаження двигунів роблять зменшення швидкості прокатки. При прокатці штаб шириною $V = 1850$ мм на 8% знижують товщину підкату - з $H_0 = 2,6$ мм до $H_0 = 2,4$ мм і істотно зменшують швидкість прокатки.

Особливістю режимів деформації на НСХП є групування прокатуваних штаб по марках сталей, з близькими величинами початкової напруги течії (таблиця 3.1), товщині гарячекатаного підкату. На чотирьохкільцевих станах з одного підкату прокатують два - три розміри кінцевих штаб. Так, на НСХП 1680 ВАТ "Запоріжсталь" штаби з розмірами 1,0-1,3 x 1000-1500 мм прокатують з гарячекатаного підкату завтовшки $H_0 = 3,0$ мм. В чистових

клітках НСХП величина відносного обтиску змінюється в межах 6 - 30%. Обтиск в межах 6 - 16% застосовують для спрощення отримання штаб з високою якістю поперечного профілю. Якщо дозволяє потужність двигуна, то у ряді випадків в чистовій клітці при прокатці тонких штаб ($h = 0,4 - 0,7$) застосовують відносний обтиск в межах $\varepsilon = 20 - 30\%$. При такому режимі деформації велика товщина штаби перед чистовою кліткою забезпечує зниження напруги заднього натягнення і знижує вірогідність пориву штаби на міжклітьовій ділянці. Стосовно кожного стану, величина відносного обтиску в чистовій клітці обумовлена, головним чином, отриманням високої якості поперечного профілю штаби і, як показує практика, залежить від товщини штаби і хімічного складу матеріалу. Для станів 1680, 1700 і 2030 емпіричних залежностей відносного обтиску в чистовій клітці для груп марок сталей представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Залежності відносного обтиску в чистовій клітці ШСХП 1680, 1700 і 2030 від товщини штаби і хімічного складу сталі

Марка сталі	Підприємство	Товщина штаби, мм	Формули В.О. Ніколаєва для розрахунку $\varepsilon_{ч}$, %
08кп, 08пс,	ЗС, НЛМК	0,5-2,0	$\varepsilon_{ч} = 14,7 - 3,8h$
10кп, 08Ю		0,8-1,1	$\varepsilon_{ч} = 26,6 - 13,3h$
		1,0-2,0	$\varepsilon_{ч} = 16 - 7(h - 1,0)^{0,7}$
		0,4-0,7	$\varepsilon_{ч} = 20-30$
15кп, 20кп, 15сп, 20сп	ММК	1,0-2,0	$\varepsilon_{ч} = 16-7(h-1,0)^{0,7}$
20кп, 20сп, 20, 25, 10, 15	НЛМК	0,7-2,0	$\varepsilon_{ч} = 12,5-6(h - 0,7)^{0,4}$

* ЗС - ВАТ "Запоріжсталь" (4х-клітьовий); ММК - Маріупольський металургійний комбінат (4х-клітьовий); НЛМК - Новолипецький металургійний комбінат (5-ти-клітьовий).

Аналіз таблиці 3.3 показує, що в умовах стану 1680 (ЗС) (потужність двигуна $N_4 = 3300$ кВт) величина відносного обтиск $\varepsilon_{\text{ч}}$ в чистовій кліті зменшується зі збільшенням товщини штаби і напруги течії металу. На стані 1700 (ММК) ($N_4 = 4800$ кВт) при прокатці штаб завтовшки 1-2 мм величина відносного обтиск $\varepsilon_{\text{ч}}$ зменшується зі збільшенням товщини штаби, але однакова для усіх марок сталі помітно вище, ніж на стані 1680. Проте на стані 1680 максимальне обтиск доводиться на першу кліть ($N_1 = 3300$ кВт). На стані 1700, при меншій потужності двигуна ($N_1 = 2400$ кВт) відносний обтиск в першій кліті менше, ніж в другій кліті ($N_2 = 4800$ кВт). Встановлено, що використання режиму деформації по режиму 2 забезпечує практично рівномірний розподіл сили P і потужності N прокатки в клітях 1-3 і, отже, більше рівномірний розподіл коефіцієнтів витяжки по ширині штаби, чим по режиму 1 деформації металу. (Розрахунки сили прокатки виконані за методикою В.О. Ніколаєва). Проте перевагою режиму 1 є менша на 5% сумарна потужність деформації штаби, оскільки максимальний обтиск незміцненого металу доводиться на першу кліть стану.

При прокатці штаб на п'ятиклітьовому стані 2030 (НЛМК) наявність більшої кількості клітей і великих потужностей головних приводів ($N_i = 8400$ кВт) дозволяє застосовувати режим деформації при відносних обтисках в першій кліті $\varepsilon_1 = 16 - 25\%$ і в чистовій $\varepsilon_{\text{ч}} < 14\%$. Режим деформації в клітях 2 - 4 проектують так, щоб забезпечити рівність сил і потужностей прокатки в цих клітях. Використовуваний режим деформації при збільшеній товщині підкату, на п'ятиклітьовому стані в порівнянні з чотирьохклітьовим станом, забезпечує зниження подовжньої і поперечної разнотолщинности і високу якість форми штаб.

Таким чином, раціональний для конкретного НСХП режим деформації повною мірою визначається кількістю клітей, потужністю приводів, законом розподілу обтисків по клітях і наявністю систем регулювання міжвалкового зазору і контролю площинної штаби. Проте за усіх вказаних вище умов оптимальним слід рахувати рівність величин зусиль прокатки в найбільшій

кількості клітей стану, що і підтверджується даними роботи. При цьому враховуючи, що режим деформації ($h = \text{const}$) практично однаковий для штаб різної ширини, то при проектуванні режиму деформації енергосилові параметри слід розраховувати тільки для максимальної ширини штаби однієї марки сталі.

3.2 Оптимізація режиму прокатки

Завдання оптимізації технологічних режимів процесів листопрокатного виробництва є багатопараметричним і характеризується наявністю критеріїв з високою мірою відносності і багатовимірності. Проте рішення задачі оптимізації технологічних режимів процесів в листопрокатному виробництві у цілому ряді випадків може бути зведене до одинкритерійного і однопараметричного рішення:

- розрахунки технологічних режимів обтисків за критерієм максимуму продуктивності;
- розрахунки технологічних режимів обтисків за критерієм заданої величини сили прокатки в кожному з проходів;
- визначення допустимих варіацій початкових технологічних параметрів;
- розрахунки технологічних режимів обтисків, виходячи з умови збереження цілісності металевої штаби, визначення напруги заднього натягіння визначення номінального, тобто настроювального значення кінцевої товщини [3].

При розрахунку режиму обтисків у безперервній групі станів холодного прокатки визначають:

- розподіл обтисків по робочих клітях стану;
- випередження;
- швидкісний режим прокатки з урахуванням випередження зусилля прокатки;

- моменти на валу електродвигуна;
- потужність електродвигуна.

Одно з основних умов розрахунків режиму обтисків на безперервних станах - дотримання рівності секундних об'ємів металу в робочих клітях [3].

При виборі обтиску по клітях використовували дві схеми [4]. Перша схема застосовується при прокатці відносно товстих штаб і припускає, що відносні обтиск зменшують від першої до останньої кліті. Зменшення обтиску в останній кліті забезпечує отримання штаб з мінімальною неплочинністю і різнотовщинністю. Друга схема використовується при проектуванні технологічних режимів прокатки тонких штаб для сучасних чотирьох- і п'ятиклітьових станів і припускає, що обтиск збільшуються від першої до останньої кліті.

Проте ці схеми менш ефективні в порівнянні з методом автоматизованого проектування, що буде продемонстровано далі.

Система автоматизованого проектування технологічних режимів містить безпосередньо саму модель оптимізації і чисельну модель розрахунку сили прокатки, яке має на увазі наступні допущення :

- деформація штаби є двомірною, при цьому пластична течія металу підкоряється гіпотезі плоских перерізів;
- розподіли нормальної осьової напруги по висоті кожного окремого поперечного перерізу осередку деформації є постійними, тоді як зміни товщини, а також нормальної і дотичної, контактної напруги по довжині кожного окремого виділеного i -го елементарного об'єму носять лінійний характер;
- протяжність зони пружного сплюснення прокатуваної штаби на вході у осередок деформації не перевищує одного кроку його розбиття;
- аналітичний опис поточних значень дотичної контактної напруги на робочих валках підкоряються закону Амонтон-Кулона.

Поточні значення коефіцієнтів зовнішнього тертя є величинами змінними по довжині зони пластичного формозмінення, закони їх розподілів

є відомими і можуть бути представлені залежно від геометричної координати.

Окрім рекурентного рішення чисельна модель розрахунку сили прокатки включає ряд процедур, а саме:

- розрахунок геометричних і силових параметрів для зони пружного відновлення штаби на виході з осередку деформації, що забезпечує визначення розрахункових значень напруги переднього натягіння;

- чисельна інтеграція отриманих локальних характеристик напруженого стану металу, що має своїй на меті визначення сили і моментів процесу прокатки;

- організацію ітераційної процедури за визначенням протяженностей зон випередження на робочих валках, що забезпечують відповідність розрахункових і заданих значень напруги переднього натягіння;

- організацію ітераційного рішення по обліку пружного сплюснення робочих валків і прокатуваної штаби [5].

У основу оптимізаційних розрахунків покладений метод динамічного програмування. Цей метод забезпечує належну точність результатів і досить швидко збіжність. В умовах того, що чисельні методи, за допомогою яких виконуються розрахунки силових параметрів у середку деформації, включають ряд виразів, що містять операції, що накладають обмеження на вхідні параметри (витягання кореня), метод цей метод придбаває велику актуальність із-за своєї відносної передбачуваності, що компенсує великі витрати часу на обчислення.

У системі на першому етапі розрахунків знаходиться 4-чистових клітей прокатного стану 1700 ПАО "ММК ім. Ілліча". На виході з останньої четвертої чистової кліті штаба повинна придбати задану кінцеву товщину, тим часом сила прокатки не повинна перевищити допустиму силу прокатки, момент і потужність прокатки так само не повинні перевищити допустимі значення, які визначаються параметрами стану.

Завдання оптимізації технологічних режимів в представленому випадку зведене до завдання оптимізації режиму обтисків. Тобто облік збереження металом достатнього запасу пластичності у рамках представленою завдання розглянутий не буде, що є недоліком розрахункової системи, який в подальшому розвитку планується розглянути далі.

Вхідними даними оптимізаційної моделі є:

- початкова і кінцева товщина;
- ширина штаби;
- радіуси робочих валків;
- коефіцієнт зовнішнього тертя;
- швидкість прокатки;
- марка стали.

Ці параметри є незмінними в межах одного обчислення.

Завдання зведене до знаходження режиму обтисків, при якому їх розподіл визначається виходячи з комплексного критерію, що розраховується по формулі :

$$Y_i = \frac{P}{[P]} + \frac{M}{[M]} + \frac{N}{[N]},$$

де Y_i - критерій, що включає комплекс параметрів;

P - сила прокатки в конкретному проході;

$[P]$ - максимально допустима сила прокатки в конкретному проході;

M - момент прокатки в конкретному проході;

$[M]$ - максимально допустимий момент прокатки в конкретному проході;

N - потужність прокатки в конкретному проході;

$[N]$ - максимально допустима потужність прокатки в конкретному проході.

Сила, момент і потужність прокатки розраховується за чисельною одновимірною методикою. Критерій Y для усього процесу розраховується по формулі:

$$Y = K_1 \times Y_1 + K_2 \times Y_2 + K_3 \times Y_3 + K_4 \times Y_4 \geq \min.$$

Завдання вирішувалося методом динамічного програмування, при цьому вершини графа - товщина штаби, ваги ребер - значення показника Y_i , K_i - ваговий коефіцієнт параметра оптимізації.

Даний стан має наступні параметри, що цікавлять нас у рамках вирішуваної задачі[6]:

- максимальна швидкість прокатки - 25 м/с;
- стан - безперервний;
- діаметр бочки робочих валків - 500 мм;
- довжина бочки робочого валка - 1700 мм

Параметри прокатуваної штаби :

- сталь 08кп;
- ширина - 1000 мм

Схема графа приведена на рис. 3.1, де h_n -начальна товщина штаби, h_k - кінцева товщина штаби, h_1, h_2, h_3 - товщина у кінці кожного з проходів; Y_1, Y_2, Y_3 - ваги ребер графа, розраховані по формулі

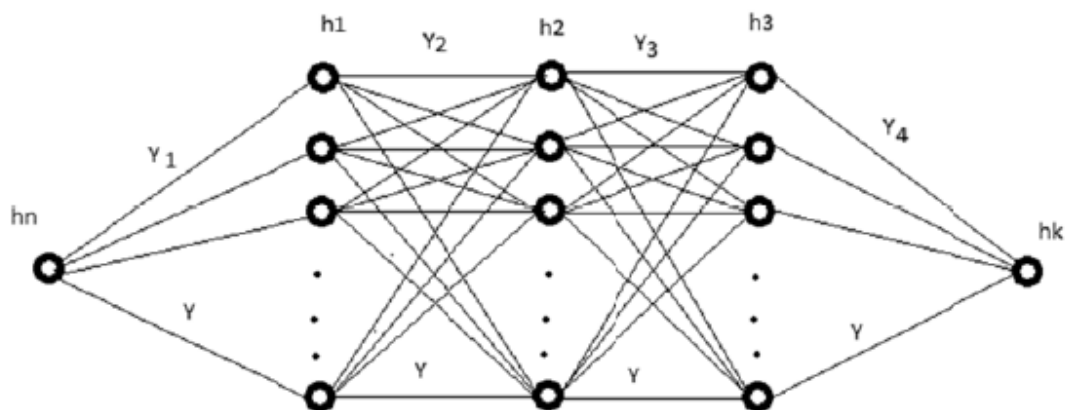


Рисунок 3.1 - Схема графа для вирішення завдання оптимізації

На рис. 3.2 показані графіки сили прокатки на міліметр ширини, а на рис. 3 - графіки зміни товщини штаби при різних технологічних режимах роботи безперервного стану холодного прокатки (НСХП) 1700 ПАО "ММК ім. Ілліча".

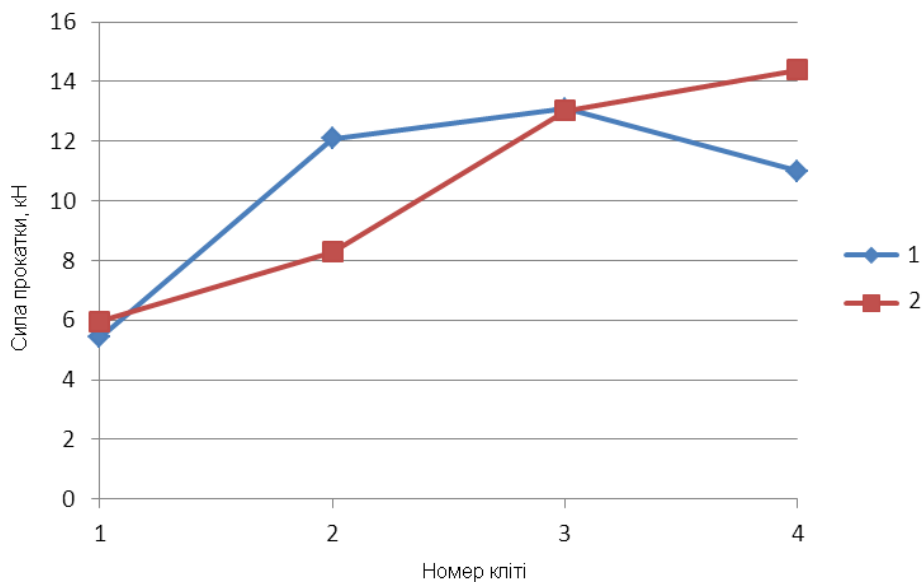


Рисунок 3.2 - Розподіл сили прокатки по клітях НСХП 1700 ПАТ "ММК ім. Ілліча": 1 – варіант 1; 2 – варіант 2

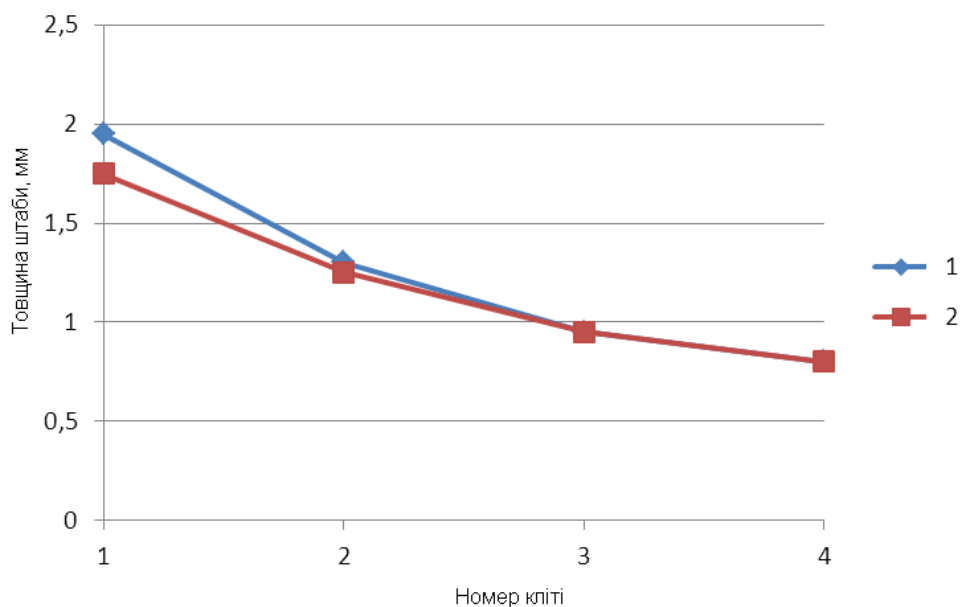


Рисунок 3.3 - Розподіл товщини штаби по клітях НСХП 1700 "ММК ім. Ілліча": 1 – варіант 1; 2 – варіант 2.

Реально вживаний на стані 1700 "ММК ім. Ілліча" і спроектований за допомогою автоматичної системи приведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.4 – Технологічні режими на стані 1700 ПАТ «ММК ім. Ілліча»

Кліть	H_i , мм	H_{i+1} , мм	P/b , кН/мм
Варіант 1			
1	2,50	1,95	5,43
2	1,95	1,30	12,08
3	1,30	0,95	13,1
4	0,95	0,80	11
Варіант 2			
1	2,5	1,75	5,97
2	1,75	1,25	8,28
3	1,25	0,95	13,03
4	0,95	0,80	14,4

Варіант 1

Абсолютне обтиснення по проходах визначаємо по формулі:

$$\Delta h_i = h_o - h_i,$$

де h_o – товщина підкату на вході в кліть, мм;

h_i - товщина підкату на виході з кліті, мм .

$$\Delta h_1 = 2,5 - 1,95 = 0,55 \text{ мм};$$

$$\Delta h_2 = 1,95 - 1,3 = 0,75 \text{ мм};$$

$$\Delta h_3 = 1,3 - 0,95 = 0,35 \text{ мм};$$

$$\Delta h_4 = 0,95 - 0,80 = 0,15 \text{ мм}.$$

Відносний обтиснення по проходах визначаємо по формулі:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_o} \cdot 100\% .$$

$$\varepsilon_1 = \frac{0,55}{2,5} \cdot 100\% = 22\% ;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,65}{1,95} \cdot 100\% = 33,3\% ;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,35}{1,30} \cdot 100\% = 26,9\% ;$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,15}{0,95} \cdot 100\% = 15,8\% .$$

Визначаємо Сумарний абсолютне обтиснення:

$$\Delta h_{\Sigma} = h_o - h_k$$

де h_k – товщина металу після останнього проходу, мм.

$$\Delta h_{\Sigma 1} = 2,5 - 1,95 = 0,55 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 2} = 2,5 - 1,30 = 1,20 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 3} = 2,5 - 0,95 = 1,55 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 2,5 - 0,80 = 1,70 \text{ мм}.$$

Сумарний запас пластичності сталі 12Г2А:

$$\Psi = 0,695 \cdot \Delta h_{\Sigma 1} + 0,042 \cdot \varepsilon - 1,23.$$

$$\Psi_1 = 0,695 \cdot 0,55 + 0,042 \cdot 22 - 1,23 = 0,04.$$

$$\Psi_2 = 0,695 \cdot 1,20 + 0,042 \cdot 33,3 - 1,23 = 1,02.$$

$$\Psi_3 = 0,695 \cdot 1,55 + 0,042 \cdot 26,9 - 1,23 = 0,98.$$

$$\Psi_4 = 0,695 \cdot 1,70 + 0,042 \cdot 15,8 - 1,23 = 0,61.$$

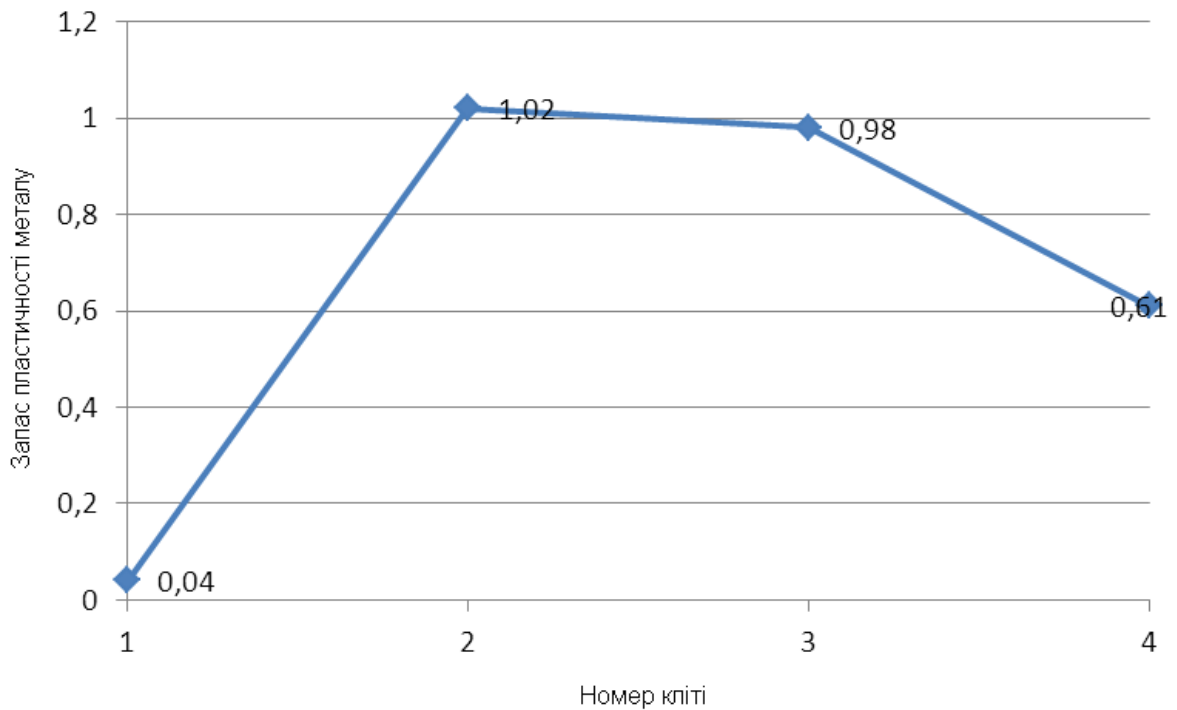


Рисунок 3.4 – Ступінь використання запасу пластичності при режиму прокаці за варіантом 1

Варіант 2

Абсолютне обтиснення по проходах визначаємо по формулі:

$$\Delta h_i = h_o - h_i,$$

де h_o – товщина підкату на вході в кліть, мм;

h_i - товщина підкату на виході з кліті, мм .

$$\Delta h_1 = 2,5 - 1,75 = 0,75 \text{ мм};$$

$$\Delta h_2 = 1,75 - 1,25 = 0,5 \text{ мм};$$

$$\Delta h_3 = 1,25 - 0,95 = 0,30 \text{ мм};$$

$$\Delta h_4 = 0,95 - 0,80 = 0,15 \text{ мм}.$$

Відносний обтиснення по проходах визначаємо по формулі:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_o} \cdot 100\% .$$

$$\varepsilon_1 = \frac{0,75}{2,5} \cdot 100\% = 30\% ;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,5}{1,75} \cdot 100\% = 28,6\% ;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0,3}{1,20} \cdot 100\% = 24\% ;$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,15}{0,95} \cdot 100\% = 15,8\% .$$

Визначаємо Сумарний абсолютне обтиснення:

$$\Delta h_{\Sigma} = h_o - h_k$$

де h_k – товщина металу після останнього проходу, мм.

$$\Delta h_{\Sigma 1} = 2,5 - 1,75 = 0,75 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 2} = 2,5 - 1,25 = 1,25 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 3} = 2,5 - 0,95 = 1,55 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 2,5 - 0,80 = 1,70 \text{ мм}.$$

Сумарний запас пластичності сталі 12Г2А:

$$\Psi = 0,695 \cdot \Delta h_{\Sigma 1} + 0,042 \cdot \varepsilon - 1,23.$$

$$\Psi_1 = 0,695 \cdot 0,75 + 0,042 \cdot 30 - 1,23 = 0,38.$$

$$\Psi_2 = 0,695 \cdot 1,25 + 0,042 \cdot 28,6 - 1,23 = 0,84.$$

$$\Psi_3 = 0,695 \cdot 1,55 + 0,042 \cdot 24 - 1,23 = 0,86.$$

$$\Psi_4 = 0,695 \cdot 1,70 + 0,042 \cdot 15,8 - 1,23 = 0,61.$$

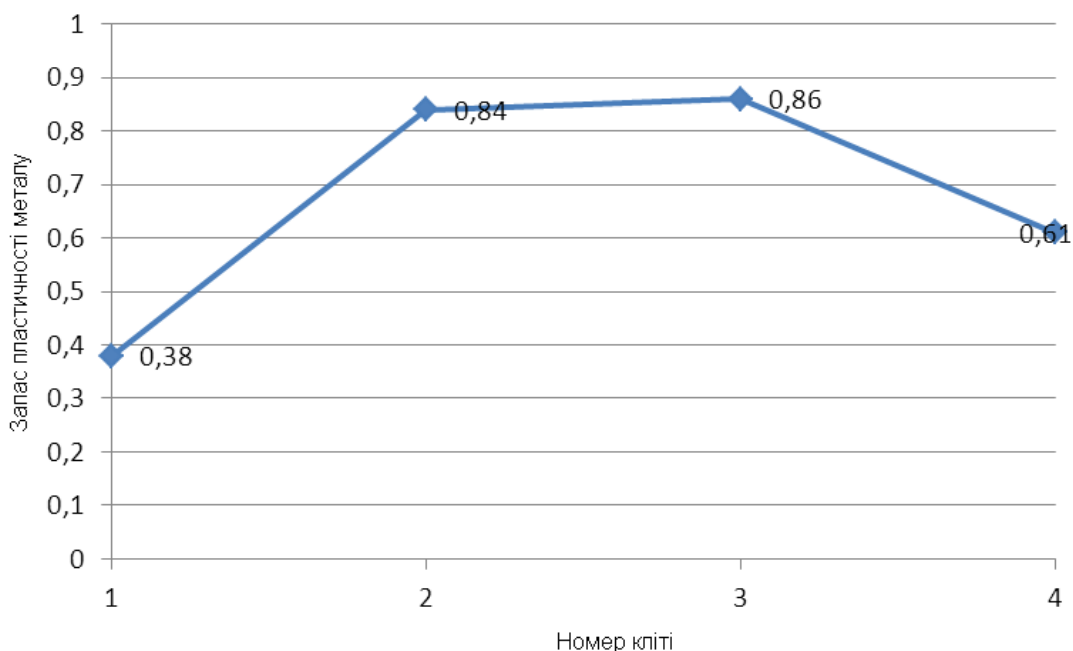


Рисунок 3.5 – Ступінь використання запасу пластичності при режиму прокаці за варіантом 2

Таким чином, була створена математична модель оптимізаційної процедури, яка використовувалася в системі автоматизованого проектування режимом обтисків, що дало можливість отримувати оптимальні режими обтисків при холодній прокатці. Ця система враховує наклеп металу, як і вже реально існуючий спосіб проектування режимів обтисків.

У цій системі враховуються умови збереження металом запасу пластичності, що є її перевагою.

3.3 Розрахунок параметрів прокатки раціонального режиму деформації

Виконати розрахунок раціональних режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки штаби товщиною 0,8 мм на неперервному стані холодної прокатки 1680.

Розрахунок

Визначаємо сумарний обтиск по формулі:

$$\varepsilon = 0,51 + 0,148(2 - h)^{1,3}, \quad (3.1)$$

Початкова товщина штаби визначається по формулі:

$$H = h / (1 - \varepsilon), \quad (3.2)$$

Де h - товщина штаби до і після прокатки, мм.

Сумарний обтиск визначаємо по формулі:

$$\Delta h = H - h_i, \quad (3.3)$$

Коефіцієнт тертя визначується по формулі:

$$f = f_o \cdot k_d \cdot k_n \cdot k_{cm} \cdot k_t, \quad (3.4)$$

де f_o - базова границя текучості;

k_d, k_n - поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно відносний обтиск штаби і шорсткість поверхні штаби;

k_{cm} - поправочний коефіцієнт, що враховує тип технологічного змащення;

k_t - коефіцієнт, що враховує температуру металу.

Визначується базова границя текучості при $v < 7,5$ м/с з формули:

$$f_o = 0,076 - 0,0019v + 0,031 \cdot (R_a - 0,6) \cdot [(1,07 - 0,14v)^3 + 0,054v - 0,26] \quad (3.5)$$

Коефіцієнт рівний:

$$k_n = 1,09 - 0,05R_{an}, \quad (3.6)$$

Коефіцієнт рівний:

$$k_d = 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_d(1 - 3,33\varepsilon), \quad (3.7)$$

Розрахунок коефіцієнта тертя з урахуванням температури штаби проводиться по формулах:

$$k_t = a + c \cdot (1,11 - 0,0044 \cdot t_H)^n, \quad (3.8)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7\varepsilon; \\ c &= 1,2 - 2,8\varepsilon; \\ n &= 3,84 - 5,7\varepsilon. \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Показник тертя розраховуємо по формулі:

$$f_n = 1,6f - 0,018, \quad (3.10)$$

Виконаємо розрахунок сумарного обтиску, розрахуємо товщину штаби по формулах 3.1 – 3.3:

$$\varepsilon_\Sigma = 0,51 + 0,148(2 - 0,8)^{1,3} = 0,7;$$

$$H = 0,8 / (1 - 0,7) = 2,67 \text{ мм};$$

$$\Delta h_\Sigma = 2,67 - 0,8 = 1,87 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 1} = 0,5 \cdot 1,87 = 0,935 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 2} = 0,24 \cdot 1,87 = 0,45 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 3} = 0,18 \cdot 1,87 = 0,34 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\Sigma 4} = 0,08 \cdot 1,87 = 0,15 \text{ мм}.$$

Перевірка:

$$\Delta h_{\Sigma} = 0,935 + 0,45 + 0,34 + 0,15 = 1,87 \text{ мм.}$$

Кліть 1

$H_o = 2,67 \text{ мм}; \Delta h = 0,935 \text{ мм}; h_1 = 1,735 \text{ мм}; \varepsilon = 35\%; R_a = 5 \text{ мкм}; D_p = 550 \text{ мм}; t_H = 25^0 \text{ C}; v = 3,7 \text{ м/с.}$

Коефіцієнт тертя і показник тертя визначуваний по формулах 3.4 –

3.10:

$$f_o = 0,076 - 0,00019 \cdot 3,7 + 0,031 \cdot (5 - 0,6) \cdot (1,07 - 0,14 \cdot 3,7)^3 + 0,054 \cdot 3,7 - 0,26] = 0,113;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,35 + 0,165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,35) = 0,98;$$

$$k_n = 1,04;$$

$$k_{cm} = 1,0;$$

$$k_t = 0,905 + 0,22(1,11 - 0,0044 \cdot 25)^{1,845} = 1,125;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,35 = 0,905; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,35 = 0,22; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,35 = 1,845. \end{aligned} \right\}$$

$$f = 0,113 \cdot 0,98 \cdot 1,04 \cdot 1,125 = 0,130;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,13 - 0,018 = 0,19.$$

Розрахуємо границю текучості σ_{T1} по формулах:

$$\sigma_{T1} = \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot K_{\varepsilon}, \quad (3.11)$$

де σ_{T0} - початкова (після відпалу) до деформації границя текучості;

$\Delta\sigma_T$ - ступінь зміцнення металу при деформації;

K_{ε} - коефіцієнт, що враховує ступінь деформації.

Величини σ_{T0} і $\Delta\sigma_T$ залежать від хімічного еквівалента даної марки сталі [3].

Для вуглецевих, конструкційних, низьколегованих марок сталей хімічний еквівалент, величини σ_{T0} і $\Delta\sigma_T$ рівні:

$$\left. \begin{aligned} C_s &= C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4}; \\ \sigma_{T0} &= 210 + 263 \cdot C_s; \\ \Delta\sigma_T &= 209 + 460 \cdot C_s. \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Коефіцієнт визначають таким чином:

$$k_\varepsilon = 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{0,4}\right)^{1,5+C}, \quad (3.13)$$

де C – вміст вуглецю в сталі.

Границя текучості металу після деформації з урахуванням впливу температури і швидкості деформації [3] дорівнює:

$$\sigma_{T1} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma \cdot k, \quad (3.14)$$

де n_u , n_t - коефіцієнти, що враховують вплив відповідно швидкості деформації і температури металу перед деформацією.

Коефіцієнти визначаються з виразів [3]:

$$\left. \begin{aligned} n_u &= 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln u}{13,8}\right)^2; \\ n_t &= 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{t_u}{300}\right)^2. \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Середній опір металу деформації дорівнює:

$$\sigma_\phi = 1,15 \cdot \left[n_t \cdot \sigma_{T(i-1)} + 0,67 (\sigma_{T1} - n_t \cdot \sigma_{T(i-1)}) \right], \quad (3.16)$$

де σ_{T1} - границя текучості після проходу;

$\sigma_{T(i-1)}$ - границя текучості до проходу.

Швидкість деформації визначимо по формулі:

$$u = v \cdot \frac{\varepsilon}{l_c}, \quad (3.17)$$

У першому наближенні приймаємо для кліті 1 - (1,3-1,5)

Обчислюємо швидкість деформації, середній опір металу, границю текучості металу після деформації, а також границю текучості сталі 08кп по формулах (3.11 – 3.17):

$$C_s = 0,171;$$

$$\sigma_{\sigma_0} = 210 + 263 \cdot 0,171 = 255 \text{ H / мм}^2;$$

$$\Delta \sigma_T = 209 + 460 \cdot 0,171 = 287 \text{ H / мм}^2;$$

$$k_\varepsilon = 1 - \left(1 - \frac{0,35}{0,4} \right)^{1,58} = 0,96;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 0,96 = 531 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 154}{13,8} \right)^2 = 1,28;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{t_u}{300} \right)^2 = 0,99;$$

$$u = \frac{10200 \cdot 0,35}{23,2} = 154 \text{ с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{0,935 \cdot 275} = 15,9 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 15,9 = 22,26 \text{ мм}.$$

$$\sigma_\phi = 1,15 [255 + 0,67(605 - 255)] = 562 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 605 = 695 \text{ H / мм}^2.$$

Довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби, а так само натягіння кінців штаби, дорівнює:

$$l'_c = \frac{C + \sqrt{C^2 + 4R \cdot \Delta h \left(1 - C \cdot \frac{f_n}{2 \cdot h_{cp}}\right)}}{2 \left(1 - C \cdot \frac{f_n}{2 \cdot h_{cp}}\right)}; \quad (3.18)$$

$$\left. \begin{aligned} C &= n_{cp} \cdot \sigma_{\phi} \cdot \frac{R}{47500}; \\ x_2 &= n_1 \cdot \sigma_{\phi 1} \cdot \frac{R}{95000}. \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

$$l_c = l'_c + x_2, \quad (3.20)$$

де R - радіус жорсткого валка;

n_{cp}, n_1 - коефіцієнти, що враховують вплив середньої натяжіння і натяжіння переднього кінця штаби:

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2\sigma_{\phi}}, \quad (3.21)$$

$$n_1 = 1 - \frac{\sigma_n}{\sigma_3}, \quad (3.22)$$

де σ_n, σ_3 - відповідно переднього і заднього натяжіння.

Обчислюємо довжину дуги контакту з формул (3.18 – 3.22):

$$C = 0,9 \cdot 562 \cdot \frac{275}{47500} = 2,9 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 695 \cdot \frac{275}{95000} = 1,7 \text{ мм};$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{120}{2 \cdot 562} = 0,9;$$

$$n_1 = 1 - \frac{90}{695} = 0,87;$$

$$l'_c = \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 + 4 \cdot 275 \cdot 0,935 \left(1 - 2,9 \cdot \frac{0,13}{2 \cdot 2,1}\right)}}{2 \left(1 - 2,9 \cdot \frac{0,13}{4,2}\right)} = 18,5 \text{ мм};$$

$$l_c = 18,5 + 1,7 = 20,2 \text{ мм.}$$

Знаходимо середній нормальний тиск і енергосилові параметри прокатки з урахуванням натяжіння:

$$P'_{cp} = \sigma_{\phi} \cdot \left[1 + 0,48 \cdot f_n \cdot l_d \cdot \frac{(1-a)}{h_{cp}} \right], \quad (3.23)$$

$$P_{cpH} = P'_{cp} \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2 \cdot P'_{cp}} \right), \quad (3.24)$$

де p_{cp} - середній тиск з формули (3.23).

Визначаємо силу прокатки з формули:

$$P = P_{cpH} \cdot l_d \cdot B_{CP} \cdot 10^{-6}, \quad (3.25)$$

Визначуваний момент прокатки:

$$M = \psi \cdot P \cdot l_d + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_3 \cdot \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_3} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (3.26)$$

де ψ - коефіцієнт положення рівнодіючих сил:

$$\psi = 0,48 \left(\frac{l_d}{l_c} \right)^2, \quad (3.27)$$

Потужність прокатки металу (на двох валках):

$$N = 2 \cdot 960 \cdot M \cdot \frac{v}{R}, \quad (3.28)$$

Виконуємо розрахунок середнього нормального тиску і сили прокатки по формулах (3.23 – 3.25):

$$P'_{cp} = 562 \left(1 + 0,48 \cdot 0,19 \cdot \frac{22,26}{2,1} \right) = 1055 H / мм^2;$$

$$\sigma_n = 30 H / мм^2, \sigma_z = 90 H / мм^2;$$

$$P_{cp} = 1055 \left(1 - \frac{120}{2 \cdot 1055} \right) = 995 H / мм^2;$$

$$P = 995 \cdot 1000 \cdot 22,26 \cdot 10^{-6} = 20,1 MH.$$

Визначуваний момент прокатки і потужність прокатки по формулах (3.26 – 3.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{15,9}{22,26} \right)^2 = 0,24;$$

$$M = 2 \cdot 0,24 \cdot 20,1 \cdot 0,0223 + 2,67 \cdot 1000 \cdot 0,275 \cdot 30 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{1,735 \cdot 90}{2,67 \cdot 30} \right) = 0,2 MH \cdot м;$$

$$N = 960 \cdot 0,2 \cdot \frac{3,7}{0,275} = 2583 кВт < 4800.$$

Визначимо температуру штаби на виході з кліті по формулі:

$$t_k = t_H + \Delta t, \tag{3.29}$$

де Δt - приріст температури у осередку деформації.

Приріст температури штаби в даній кліті рівний:

$$\Delta t = 0,05 \cdot m (p_{cp} + \sigma_\phi) \ln \frac{H}{h}, \tag{3.30}$$

де m – коефіцієнт, який приблизно визначається виразом:

$$m = 2,2 - 0,65 \cdot \left(\frac{t_H}{480} - 0,042 \right)^{1,4}, \quad (3.31)$$

Визначаємо температуру штаби на виході за допомогою формул (3.29 – 3.31):

$$\Delta t = 2,19 \cdot 0,05(995 + 562) \ln \frac{2,67}{1,735} = 73,5^\circ \text{C};$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{25}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,19;$$

$$t_k = 25 + 74 = 99^\circ \text{C}.$$

Кліть 2

$$H_o = 2,67 \text{ мм}; h_1 = 1,735 \text{ мм}; h_2 = 1,285 \text{ мм}; \Delta h = 0,45 \text{ мм}; \varepsilon = 26\%; t_H = 99^\circ \text{C}; v = 5,5 \text{ м/с}.$$

Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів для кліті 2 такий же, як і для кліті 1.

Визначуваний коефіцієнт тертя по формулі 3.4 – 3.10:

$$f_o 0,076 - 0,0019 \cdot 5,5 + 0,031(5 - 0,6) \left[(1,07 - 0,14 \cdot 5,5)^3 + 0,054 \cdot 5,5 - 0,26 \right] = 0,074;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,26 + 0,165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,26) = 1,07;$$

$$k_t = 0,752 + 0,472(1,11 - 0,0044 \cdot 99)^{2,358} = 0,94;$$

$$k_n = 1,04;$$

$$k_{cm} = 1;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,26 = 0,752; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,26 = 0,472; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,26 = 2,358 \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,074 \cdot 1,07 \cdot 1,04 \cdot 0,94 = 0,077;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,077 - 0,018 = 0,105.$$

Визначувана границю текучості, сумарний обтиск з формул (3.11 – 3.15):

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2,67 - 1,285}{2,67} = 0,52;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,87(0,52 - 0,4)^{0,5} = 1,3;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,3 = 628 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 89,4}{13,8} \right)^2 = 1,26;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{99}{300} \right)^2 = 0,9;$$

$$u = 5500 \cdot \frac{0,26}{16} = 89,4 \text{ с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,45} = 11,1 \text{ мм};$$

$$\sigma'_{T} = 1,26 \cdot 0,9 \cdot 255 + 287 \cdot 1,3 = 662 \text{ H / мм}^2.$$

Визначаємо опір металу деформації по формулах (3.16) – (3.17):

$$\sigma_{\phi} = 1,15[628 + 0,67(662 - 628)] = 748 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 662 = 761 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_s = 0,15 \cdot 628 = 94 \text{ H / мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 662 = 99 \text{ H / мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{94 + 99}{2 \cdot 748} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{99}{761} = 0,87.$$

Визначимо довжину дуги контакту по формулах (3.18) – (3.22):

$$C = 0,87 \cdot 748 \frac{275}{47500} = 3,8 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 761 \frac{275}{95000} = 1,9 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{1,735 \cdot 1,285} = 1,5 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{3,8 + \sqrt{14,44 + 4 \cdot 275 \cdot 0,45 \left(1 - 3,8 \cdot \frac{0,074}{3}\right)}}{2 \left(1 - 3,8 \cdot \frac{0,074}{3}\right)} = 14 \text{ мм};$$

$$l_c = 14 + 1,9 = 15,9 \text{ мм}.$$

Визначаємо енергосилові параметри по формулах (3.23) – (3.25):

$$P'_{cp} = 748 \left(1 + 0,35 \cdot 0,074 \cdot \frac{15,9}{1,5} = 953 \text{ Н / мм}^2; \right)$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,074) = 0,35;$$

$$P_{cp} = 953 \cdot \left(1 - \frac{94 + 99}{2 \cdot 953} \right) = 857 \text{ Н / мм}^2;$$

$$P = 857 \cdot 0,0164 \cdot 1,00 = 14,1 \text{ МН}.$$

Визначуваний момент прокатки і потужність прокатки по формулах (3.26) – (3.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{11,1}{15,9} \right)^2 = 0,23;$$

$$M = 2 \cdot 0,23 \cdot 15,9 \cdot 0,0159 + 1,735 \cdot 1,00 \cdot 0,275 \cdot 94 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{1,285 \cdot 99}{1,735 \cdot 94} \right) = 0,13 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,13 \cdot \frac{5,5}{0,275} = 2496 \text{ кВт} < 4800.$$

Визначаємо температуру штаби по формулах (3.29) – (3.31):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{99}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,15;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,15 \cdot (857 + 748) \cdot \ln \frac{1,735}{1,285} = 52^\circ \text{ C};$$

$$t_k = 99 + 52 = 151^\circ \text{ C}.$$

Кліть 3

$$H_0 = 2,67 \text{ мм}; h_2 = 1,285 \text{ мм}; h_3 = 0,945 \text{ мм}; \Delta h = 0,34 \text{ мм}; \varepsilon = 26\%; t = 151^\circ \text{ C}; v = 7 \text{ м/с}.$$

Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів для кліті 3 такий же, як і для кліті 1.

Коефіцієнт тертя визначимо з виразів (3.4) – (3.10):

$$f_0 = 0,076 - 0,0019 \cdot 7 + 0,031 \left[(1,07 - 0,14 \cdot 7)^3 + 0,054 \cdot 7 - 0,26 \right] = 0,079;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,26 + 165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,26) = 1,07;$$

$$k_n = 1,04;$$

$$k_{cm} = 1;$$

$$k_t = 0,752 + 0,472(1,11 - 0,0044 \cdot 151)^{2,358} = 0,82;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,26 = 0,752; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,26 = 0,472; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,26 = 2,358. \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,079 \cdot 1,07 \cdot 1,04 \cdot 0,82 = 0,072;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,072 - 0,018 = 0,097.$$

Границю текучості розраховуємо по формулі (3.11) – (3.15):

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{2,67 - 0,945}{2,67} = 0,65;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,65 - 0,4)^{0,5} = 1,44;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,44 = 668 \text{ Н / мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38(0,5 + \ln 129 / 13,8)^2 = 1,28;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{151}{300} \right)^2 = 0,86;$$

$$u = 5500 \cdot \frac{0,26}{11,1} = 129 \text{ с}^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,26} = 8,5 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 8,5 = 11,9 \text{ мм};$$

$$\sigma'_{T1} = 1,28 \cdot 0,86 \cdot 255 + 284 \cdot 1,44 = 690 \text{ Н / мм}^2.$$

Опір металу деформації розраховуємо по формулі (3.16) – (3.17):

$$\sigma_{\phi} = 1,15[674 + 0,67(690 - 674)] = 787H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 690 = 794H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_{\bar{s}} = 0,15 \cdot 674 = 101H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_{\bar{n}} = 0,15 \cdot 690 = 104H / \text{мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{205}{2 \cdot 787} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{104}{794} = 0,87.$$

Довжину дуги контакту знаходимо з формул (3.18) – (3.22):

$$C = 0,87 \cdot 787 \cdot \frac{275}{47500} = 4,0 \text{мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 794 \cdot \frac{275}{95000} = 2 \text{мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{1,285 \cdot 0,945} = 1,1;$$

$$l_c = \frac{4,0 + \sqrt{16 + 4 \cdot 275 \cdot 0,26 \cdot \left(1 - 4,0 \frac{0,091}{2,2}\right)}}{2 \cdot \left(1 - 4,0 \frac{0,091}{2,2}\right)} = 12 \text{мм};$$

$$l_c = 12 + 2 = 14 \text{мм}.$$

Визначаємо енергосилові параметри по формулах (3.23) – (3.25):

$$P'_{cp} = 787 \left(1 + 0,39 \cdot 0,091 \frac{14}{1,1}\right) = 1142H / \text{мм}^2;$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,091) = 0,39;$$

$$P_{cp} = 1142 \left(1 - \frac{205}{2 \cdot 1142}\right) = 1040H / \text{мм}^2;$$

$$P = 1040 \cdot 0,014 \cdot 1,0 = 15 \text{МН}.$$

Визначимо момент і потужність прокатки по формулах (3.26) – (3.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{11,9}{14} \right)^2 = 0,35;$$

$$M = 2 \cdot 0,35 \cdot 15 \cdot 0,014 + 1,385 \cdot 1,00 \cdot 0,275 \cdot 101 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,945 \cdot 104}{1,285 \cdot 101} \right) = 0,156 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,156 \frac{7}{0,275} = 3812 \text{ кВт} < 4800.$$

Визначимо температуру штаби по формулах (3.29) – (3.31):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{151}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,09;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,09 (787 + 1040) \ln \frac{1,285}{0,945} = 59^\circ \text{C};$$

$$t_k = 151 + 59 = 210^\circ \text{C}.$$

Кліть 4

$H_o = 2,67 \text{ мм}; h_3 = 0,945 \text{ мм}; h_4 = 0,8 \text{ мм}; \Delta h = 0,145 \text{ мм}; \varepsilon = 15,3\%; t_H = 210^\circ \text{C}; \nu = 8,5 \text{ м/с}.$
Розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів для кліті 4 такий же, як і для кліті 1.

Коефіцієнт тертя розраховуємо по формулах (3.4) – (3.10):

$$f_o = 0,99 [0,062 + 0,005 \cdot 4,4] = 0,083;$$

$$k_v = 0,56 + 0,7(1 - 0,025 \cdot 8,5)^2 = 0,99;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,153 + 0,165 \cdot 4,4(1 - 3,33 \cdot 0,153) = 1,13;$$

$$k_t = 0,57 + 0,77(1,11 - 0,0044 \cdot 210)^{2,97} = 0,58;$$

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,31 + 1,7 \cdot 0,153 = 0,57; \\ c &= 1,2 - 2,8 \cdot 0,153 = 0,77; \\ n &= 3,84 - 5,7 \cdot 0,153 = 2,97. \end{aligned} \right\};$$

$$f = 0,083 \cdot 1,13 \cdot 1,04 \cdot 0,58 = 0,057;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,057 - 0,018 = 0,073.$$

Границя текучості розрахована з формул (3.11)– (3.15):

$$\varepsilon = \frac{2,67 - 0,8}{2,67} = 0,7;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,7 - 0,4)^{0,5} = 1,48;$$

$$\sigma_{T1} = 255 + 287 \cdot 1,48 = 680H / \text{мм}^2;$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln 141}{13,8} \right)^2 = 1,33;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{210}{300} \right)^2 = 0,82;$$

$$u = 8500 \frac{0,153}{9,2} = 141c^{-1};$$

$$l_d = \sqrt{275 \cdot 0,145} = 6,3\text{мм};$$

$$l_c = 1,4 \cdot 6,3 = 8,82\text{мм};$$

$$\sigma'_{T1} = 1,33 \cdot 0,82 \cdot 255 + 287 \cdot 1,48 = 703H / \text{мм}^2.$$

Опір металу деформації розраховуємо по формулах (3.16) – (3.17):

$$\sigma_\phi = 1,15[687 + 0,67(703 - 687)] = 802H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot 703 = 808H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_n = 0,15 \cdot 703 = 105H / \text{мм}^2;$$

$$\sigma_s = 0,15 \cdot 687 = 103H / \text{мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{208}{2 \cdot 802} = 0,87;$$

$$n_1 = 1 - \frac{105}{808} = 0,87.$$

Довжину дуги контакту визначимо з виразу (3.18) – (3.22):

$$C = 0,87 \cdot 802 \frac{275}{47500} = 4 \text{ мм};$$

$$x_2 = 0,87 \cdot 808 \frac{275}{95000} = 2 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \sqrt{0,945 \cdot 0,8} = 0,87 \text{ мм};$$

$$l'_c = \frac{4 + \sqrt{16 + 4 \cdot 275 \cdot 0,145 \left(1 - 4 \frac{0,076}{2 \cdot 0,87}\right)}}{2 \left(1 - 4 \frac{0,076}{2 \cdot 0,87}\right)} = 9,8 \text{ мм};$$

$$l_c = 9,8 + 2 = 11,8 \text{ мм}.$$

Енергосилові параметри визначаємо з виразів (3.23) – (3.25):

$$P'_{cp} = 802 \left(1 + 0,42 \cdot 0,076 \frac{11,8}{0,87}\right) = 1149 \text{ Н / мм}^2;$$

$$C_H = 0,17 \left(1 + 14,7 \frac{0,076}{0,87}\right) = 0,39;$$

$$P_{cp} = 1149 \left(1 - \frac{208}{2 \cdot 1149}\right) = 1045 \text{ Н / мм}^2;$$

$$P = 1045 \cdot 0,0118 \cdot 1,00 = 12,3 \text{ МН}.$$

Момент прокатки і потужність прокатки визначимо з формул (3.26) – (3.28):

$$\psi = 0,48 \left(\frac{6,3}{11,8}\right)^2 = 0,14;$$

$$M = 2 \cdot 0,14 \cdot 12,3 \cdot 0,0118 + 0,945 \cdot 1,00 \cdot 0,275 \cdot 103 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,8 \cdot 105}{0,945 \cdot 103}\right) = 0,044 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$N = 960 \cdot 0,044 \cdot \frac{8,5}{0,275} = 1306 \text{ кВт}.$$

Визначимо температуру штаби з формули (3.29) – (3.31):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{210}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,02;$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,02 \cdot (802 + 1045) \ln \frac{0,945}{0,8} = 31^\circ \text{C};$$

$$t_k = 210 + 31 = 241^\circ \text{C}.$$

Результати всього розрахунку зводимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими деформації і енергосилові параметри прокатки штаби товщиною 0,8 мм

№ кліті	h мм	Δh , мм	ε , %	σ_ϕ , H / мм ²	l_c , мм	P, МН	M, МН · м	N, кВт	f_n	t_k , °C
1	1,735	0,935	35	562	20,2	20,1	0,20	2583	0,19	99
2	1,285	0,45	26	748	15,9	14,1	0,13	2496	0,105	151
3	0,945	0,34	26	787	14	15	0,156	3812	0,097	210
4	0,8	0,145	15,3	802	11,8	12,3	0,044	1306	0,073	241

Результати розрахунку представлені у графічному виді на рисунках 3.6-3.9.

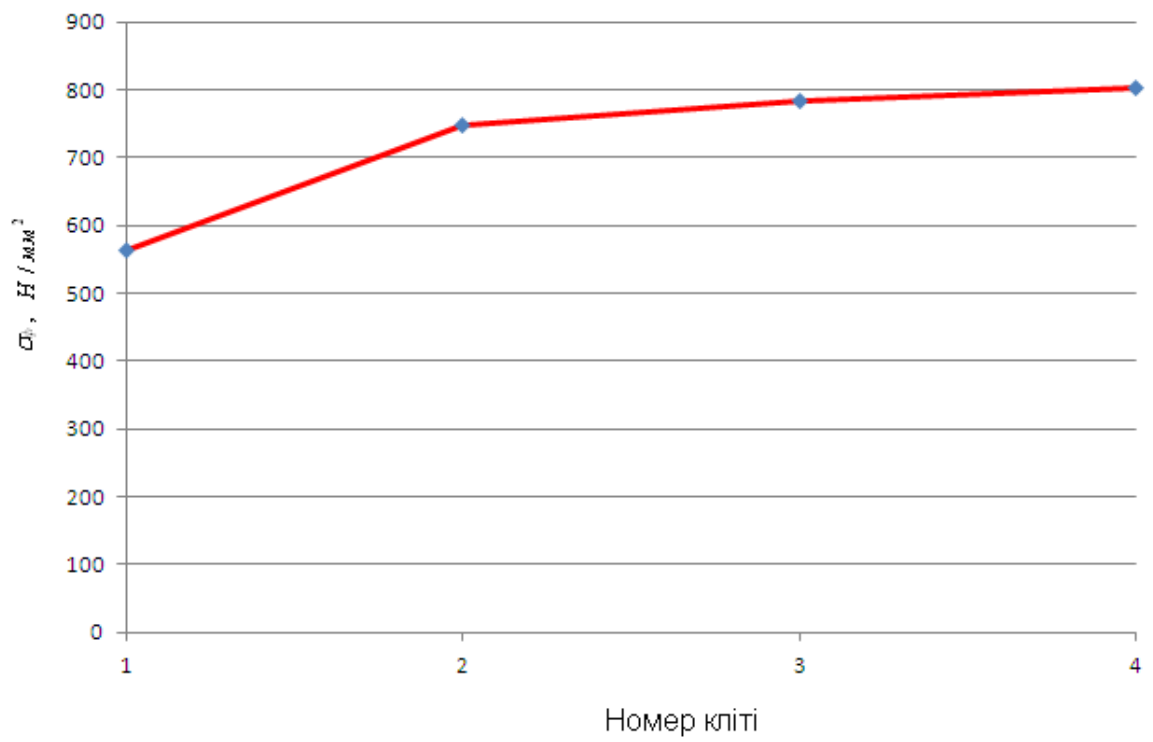


Рисунок 3.6 – Зміцнення металу під час прокатки

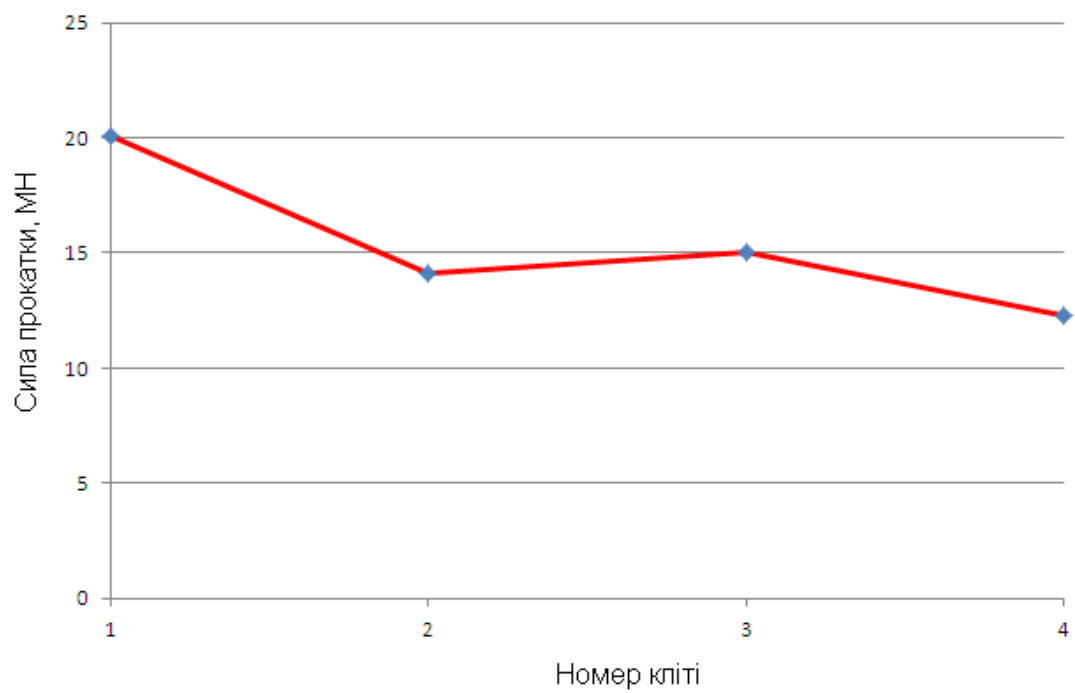


Рисунок 3.7 – Розподіл величини сили прокатки по клітях

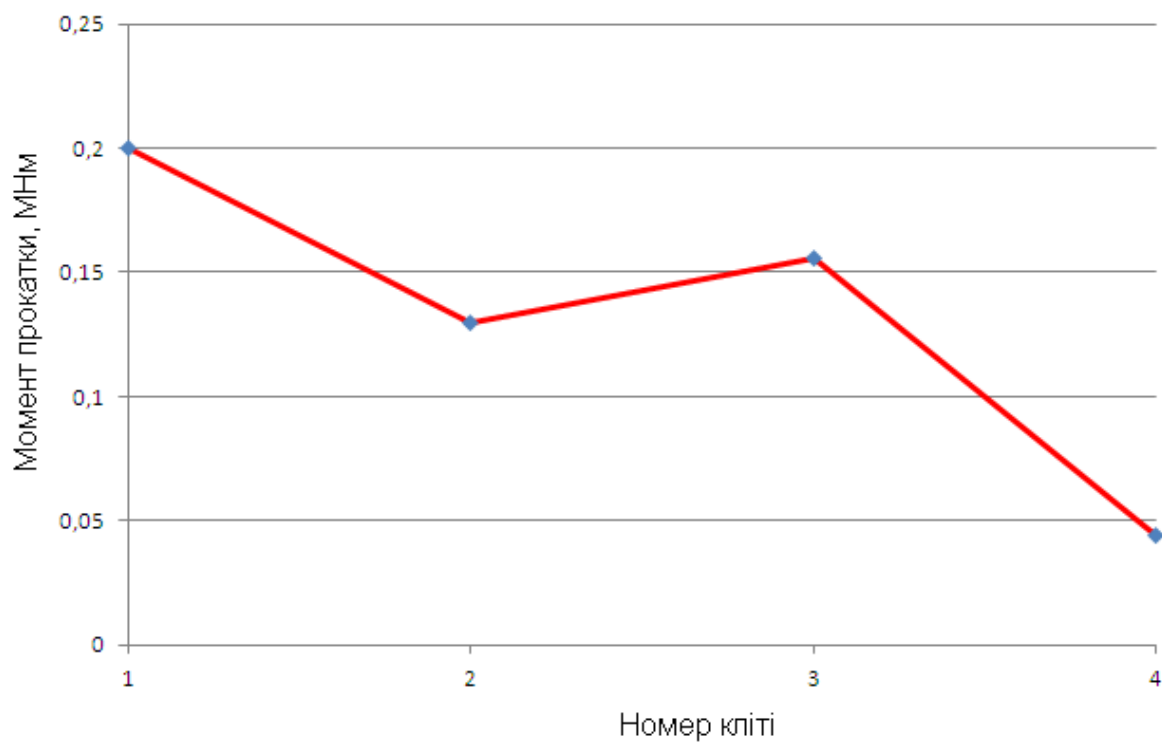


Рисунок 3.8 – Розподіл величини моменту прокатки по клітях

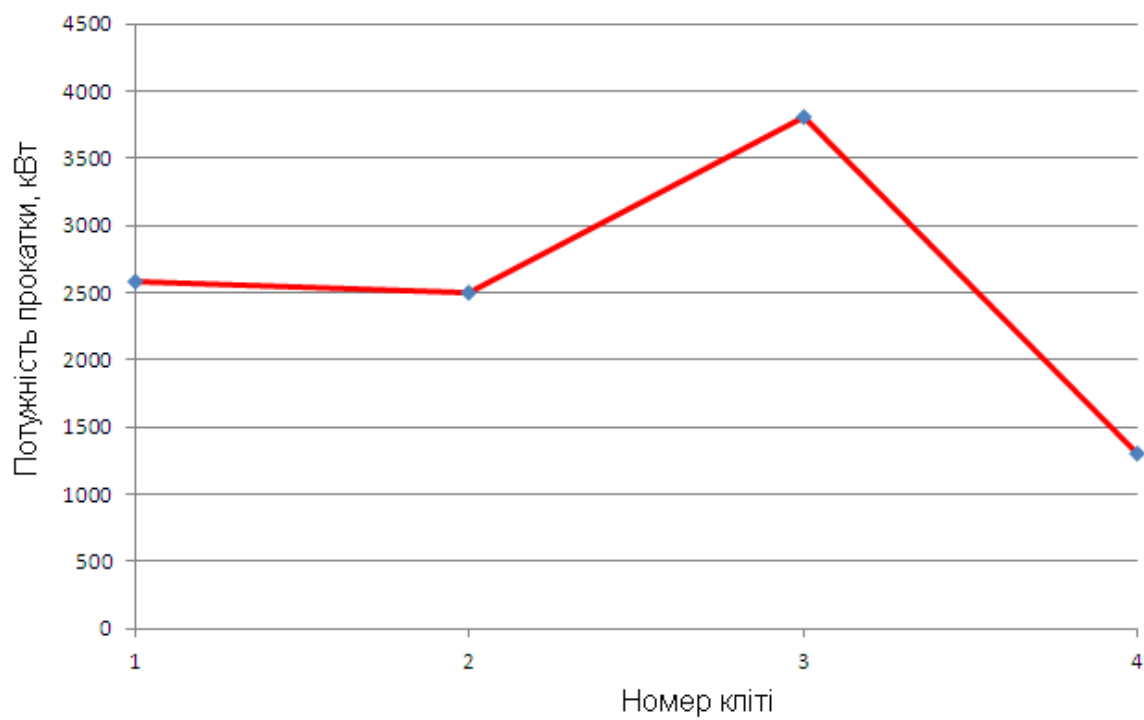


Рисунок 3.9 – Розподіл величини потужності прокатки по клітях

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

ЦХП - 1 відноситься до Іб категорії за ГОСТ 12.1.005-88, тому що витрати енергії робітника становить приблизно 178 ккал/г.

Слід зазначити, що умови роботи вальцювальників на безперервному стані холодної прокатки «1680» ускладнюється тим, що їхня робоча зона розташована в безпосередній близькості до стана і незахищена закритою кабіною. Через застосування постійно, що розширюється асортиментів, мастил, необхідні для забезпечення високошвидкісного процесу, у повітрі робочої зони можливе надходження низьке - і високомолекулярних жирних кислот, окису вуглецю, хлору, аерозолі масла. Це вимагає устаткування безперервного стана холодної прокатки «1680» місцевою витяжкою, вентиляцією. Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, пульти керування, шумозахисні кабіни), а також виключати можливість:

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

У запобігання травмування повинні бути виключені всі роботи з ручним завданням або іншими операціями на стані. Спостерігаються випадки травмування частинами валків, які відлітають, і ін. частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їхнє руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

На безперервному стані холодної прокатки «1680» такі шкідливі фактори, як теплове випромінювання і вібрація відсутні.

На безперервному стані холодної прокатки «1680» застосуємо безперервний процес прокатки, тобто метал перебуває відразу у всіх клітках, які зменшують час процесу прокатки й кількість допоміжних операцій, це зменшує можливі випадки травматизму.

Вальцювальники і їх підручні повинні дотримувати ряду правил техніки безпеки. []

Насамперед, це стосується робіт, пов'язаних з перебуванням працюючих біля робочої клітки стана: перевалки, зачищення, чищення емульсійного колектора. Варто змити в клітці залишки масла або емульсії, покласти вниз дошку й після цього приступитися до роботи. Перед пуском стана вальцювальник повинен переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні біля стана, справності кнопки аварійної зупинки. Біля стана не повинне бути обривів, деталей стана. Проходи повинні бути вільні, підлога сухих і чистий, перекриттів гофрованими металевими плитами. Необхідно перевірити справність захисних корпусів, які заземлюють електродвигуни й апаратури, а також огороження, прийомного стола, стелажів, кріплень що рухаються й обертаються.

Пари змазуючо-охолодної рідини, можуть викликати роздратування слизової оболонки верхніх дихальних шляхів.

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

На ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680», внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 дБ при нормі 85 дБ ГОСТ 12.1.003-83.[]

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

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу.

Робоче місце – вальцювальник

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ <u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас небезпеки</u>						90
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
Масла мінеральні	5	6,78	1,36				
2	Пил переважно фіброгенної дії мг/м ³	4,0	4,8	1,2			95
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.						
4	Шум, дБА	85	92			7	90
5	Інфразвук дБ						
6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м; - діапазон промислової частоти, кв/м; - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						
8	Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря ⁰ С;	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,3-0,6	0,6				
	- відносна вологість повітря, %;	55	35				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²						
9	Температура навколишнього повітря(під час роботи на відкритому повітрі), ⁰ С: - улітку - узимку						
10	Атмосферний тиск						
11	Вага й напруженість праці.						

4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії

Об'ємно-планувальні рішення будинків і споруджень цеху

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов забезпечення прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання й відводу стічних і поверхневих вод. Рівень стічних і поверхневих вод на площадці повинен бути нижче рівня підлоги підземних споруджень цеху. Щодо житлового селища завод розташовують із повітряної сторони до вітрів переважного напрямку. Аналогічно розташовують будинку цехів зі шкідливими стосовно інших будинків.

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

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

Освітлення

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

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного освітлення застосовують як правило, газорозрядні лампи (ртутні високого тиски з виправленою кольоровістю, люмінесцентні). Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення. У прокатному цеху для загального освітлення застосовують лампи накалювання, світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становлять 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на один розряд. У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом, пунктами керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

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

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

У таблиці 4.2 укажемо прийняті значення освітленості.

Санітарно-побутові приміщення

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

Таблиця 4.2 – Прийняті значення освітленості

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

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

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

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

Живлення робітників здійснюється у виробничих їдальнях, з обліком, що одне місце розраховане на обслуговування чотирьох чоловіків у зміну.

Стирають робочий одяг у пральні ВАТ «Запоріжсталь». Організовано цілодобову роботу фельдшерського медпункту.

Виробничий шум

Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність. Для оцінки гучності звуків служить міжнародна шкала гучності, градуйована в децибелах, у якому за нульову крапку прийнятий поріг чутності, а за вищу - гучність зухвала в органах слуху відчуття болю. Для зменшення шуму на ділянці

безперервного стана холодної прокатки «1680» виробляються реконструктивні зміни деталей, механізму подачі й т.д. це дозволяє зменшити шум на 10...12 дБ. Якщо ж у випадку проведених заходів фактичний рівень шуму перевищує нормативний, тоді необхідно користуватися засобами індивідуального захисту: беруши, навушники.

Засоби індивідуального захисту

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

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

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

4.3 Електробезпека

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

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

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

Виконувати роботи в електричних установках повинен тільки електрик.

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

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

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

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

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

4.4 Заходи щодо техніки безпеки

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

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

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

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

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

4.5 Пожежна та техногенна безпеки

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

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

Джерелами виникнення пожежі можуть бути:

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

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

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

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

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

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

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

На випадок виникнення пожежі використовують первинні засоби пожежогасіння відповідно нормам (таблиця 4.6).

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

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

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

Примітка: НД - не допускається.

Таблиця 4.6 – Розрахунок первинних засобів пожежогасіння для ділянки безперервного стану холодної прокатки «1680»

Найменування приміщень, споруджень, установок	Од., виміру	Пінні вогнегасники й ОХП-10	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском ємністю 0,5м ³
			ВВ-2	ВВ-5	ВП-1	
Ділянка стану 1680	10210м ²	11	3	6	1	2
Пости керування	1 шт	3	4	2	2	–
Електромостовий кран	2 шт	–	1	2	–	–
Вентиляційні установки	3 шт	2	2	3	2	1

4.6 Розрахунок штучного освітлення ділянки безперервного стана холодної прокатки «1680»

Вихідні дані:

- довжина прольоту, $A=180$ м;
- ширина прольоту, $B=24$ м;
- кратність кроку колони в прольоті, 6 м;
- висота приміщень до нижньої крайки будівельних ферм, $l_p=10$ м;
- висота розрахункової поверхні, $l_r=0,8$ м.

Розрахунок:

З огляду на, що приміщення високе з нормованими умовами повітря робочої зони й робота не вимагає високої якості передачі кольору, вибираємо як джерело світла лампи ДРЛ-1000. вибираємо світильник для лампи ДРЛ типу СЗ. передбачаємо розташування світильників на одній висоті з нижньою крайкою кроквяних ферм покрівлі прольоту.

$$L = l_p - l_r = 10 - 0,8 = 9,2 \text{ м}$$

Визначаємо висоту підвісу світильників:

$$\lambda = L \cdot n,$$

$$\text{де } n=0,9 \dots 1 \dots 1,0$$

$$\lambda = 9,2 \cdot 0,9 = 8,28 \text{ м}$$

Розрахункове рекомендоване значення відстані між світильниками становить 8,28 м. Виходячи із кратності кроку колони в прольоті передбачається відстань між світильниками 6 м.

Визначаємо кількість світильників по довжині прольоту:

$$N_1 = \frac{A}{L}, \quad (4.1)$$

По ширині прольоту:

$$N_2 = \frac{B}{L}, \quad (4.2)$$

Кількість світильників по довжині й ширині прольоту визначаємо з формул (4.1) – (4.2):

$$N_1 = \frac{180}{9,2} = 19 \text{ед};$$

$$N_2 = \frac{24}{9,2} = 3 \text{ед}.$$

Визначаємо величину мінімальної освітленості, виходячи з умов зорової роботи в прольоті. У цьому випадку робота середньої точності, що відповідає 4 розряду зорової роботи з мінімальною величиною освітленості при загальному висвітленні $E = 150$ лк.

Коефіцієнт запасу при штучному висвітленні $K_3 = 1,5$.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп ДРЛ $z = 1,15$.

Індекс приміщення:

$$i = \frac{A + B}{(A + B) \cdot l}, \quad (4.3)$$

$$i = \frac{180 \cdot 24}{(180 + 24) \cdot 9,2} = 2,3$$

З огляду на коефіцієнти відбиття поверхонь стелі й стін $P_{\text{ст}}=50\%$, $P_i=30\%$, $P_y=10\%$ визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку рівний $\eta = 72\%$.

На підставі отриманих даних розраховуємо необхідний потік кожної лампи:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (4.4)$$

де E – нормована освітленість, лм;

K_3 – коефіцієнт запасу;

S – площа запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (приймається рівним 1,1-1,2);

N – кількість світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Потік кожної лампи визначимо з вираження (4.4):

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 24 \cdot 1,15}{120 \cdot 0,72} = 12937_{\text{лм}}$$

Даному споживаному світловому потоку відповідає лампа ДРЛ-250 потужністю 250 Вт і світловим потоком 13000 лм.

Відхилення світлового потоку лампи від споживаного становить:

$$\frac{13000 - 12937}{12937} \cdot 100\% = 0,4\%$$

Установлена потужність освітлювальної установки:

$$P = 250 \cdot 120 = 30 \text{ кВт}$$

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок річного випуску продукції

Модернізація - це тридцятилітній загального процесу підвищення продуктивності діючого встаткування. Економічний ефект від модернізації виражається в збільшенні кількості й підвищенні якості вироблюваної продукції, у зниженні простоїв і в поліпшенні профілактичного обслуговування встаткування.

Модернізація - це в широкому понятті відновлення об'єкта з урахуванням сучасних досягнень науки й техніки.

Ріст продуктивності встаткування багато в чому залежить від строків задачі встаткування в експлуатацію. Монтаж устаткування можна скоротити, якщо сполучити його з будівельними роботами, з механізацією робіт при широкому використанні сіткового планування й керування й вузловим монтажем устаткування.

У результаті прийнятих заходів було досягнуто:

1. Скорочення тривалості капітального ремонту на 2 доби.
2. Зниження тривалості ППР за рахунок поліпшення організації і підготовки ремонтів на 1 добу в рік.
3. Збільшення годинної продуктивності встаткування на 2,5 %

Вибираємо вихідні дані для розрахунку:

1) Найменування агрегату - неперервний стан холодної прокатки 1680

2) Час простою прокатного стану:

Кап. ремонт - 14 діб.

ППР - 1 діб.

Поточні простої, в % до номінального часу - 12%

3) Продуктивність фактична, т у годину - 90,1

Капітальний ремонт базового варіанта (БВ) і проектового варіанта (ПВ), відповідно до прийнятих показників, рівні 14 і 12 доби.

Номінальний час роботи прокатного стану складе по БВ:

$$365 - 14 - 3 = 348 \text{ діб.}$$

у годинниках

$$348 \cdot 24 = 8352 \text{ год.}$$

Відповідно по ПВ:

$$365 - 12 - 2 = 351 \text{ діб.}$$

у годинниках

$$351 \cdot 24 = 8424 \text{ год.}$$

Поточні простої по БВ до номінального складуть:

$$8352 \cdot 12 : 100 = 1002,24 \text{ год.}$$

Поточні простої по ПВ у відсотковому відношенні складуть:

$$\frac{1002,24 \cdot 100}{8424} = 12 \%$$

Фактичний час роботи стану:

$$\text{БВ} \quad 8352 - 1002,24 = 7349,76 \text{ год}$$

$$\text{ПВ} \quad 8424 - 1002,24 = 7421,76 \text{ год}$$

Продуктивність устаткування:

$$\text{БВ} \quad 90,1 \text{ т/год}$$

$$\text{ПВ} \quad 90,1 (1 + 2,5/100) = 92,35 \text{ т/год}$$

Річний обсяг виробництва, т:

$$\text{БВ} \quad 90,1 \cdot 7349,76 = 662213,4$$

$$\text{ПВ} \quad 92,35 \cdot 7421,76 = 685399,5$$

Збільшення обсягу виробництва, т:

$$685399,5 - 662213,4 = 23186,1$$

Збільшення обсягу виробництва досягнуто за рахунок скорочення часу на капітальний ремонт на 2 доби, що дозволило збільшити виробництво холоднокатаної смуги на, т:

$$2,0 \cdot 24 \cdot 90,1 = 4324,8$$

Скорочення ППР на 1 добу, т:

$$1,0 \cdot 24 \cdot 90,1 = 2162,4$$

Збільшення годинної продуктивності на 2,25 т забезпечило, т:

$$2,25 \cdot 7421,76 = 16698,9$$

Усього: 23186,1 т

Збільшення річного обсягу виробництва складе, %:

$$\frac{23186,1}{662213,4} 100 = 3,5$$

Темп росту стосовно БВ, %:

$$\frac{685399,5}{662213,4} 100 - 100 = 3,5$$

7.2 Розрахунок капітальних вкладень на модернізацію устаткування прокатного стану

Перелік і величина капітальних витрат на модернізацію представлені в таблиці 7.1

Таблиця 7.1 - Капітальні витрати на модернізацію встаткування прокатного стану

№ п/п	Найменування показника	Од.	Вартість, тис. грн.
1	Система автоматизації	1	88260
2	Механізми установки валків	1	110692
3	Ремонтно-механічні роботи	-	20928
4	Монтажні роботи	-	20000
	Разом:		239880

7.3 Розрахунок економії витрат на одиницю продукції

Розрахунок економії по переділі на 1 т продукції за рахунок збільшення обсягу виробництва.

Газ природний:

$$\frac{0,041 \cdot 0,4 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,4)0,041 = 0,04 \text{ тис. м}^3$$

$$0,04 \cdot 279,06 = 11,16 \text{ грн.}$$

Електроенергія:

$$\frac{0,088 \cdot 0,4 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,4)0,088 = 0,0868 \text{ кВт/год}$$

$$0,0868 \cdot 168,20 = 14,60 \text{ грн}$$

Пара:

$$\frac{0,107 \cdot 1,0 \cdot 100}{103,5} = 0,103 \text{ Г кал}$$

$$0,103 \cdot 31,16 = 3,21 \text{ грн.}$$

Вода:

$$\frac{0,019 \cdot 1,0 \cdot 100}{103,5} = 0,0184 \text{ м}^3$$

$$0,0184 \cdot 110,79 = 2,04 \text{ грн.}$$

Зарплата виробничих робітників:

$$\frac{8,93 \cdot 0,5 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,5)8,93 = 8,78 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування:

$$\frac{3,35 \cdot 0,5 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,5)3,35 = 3,29 \text{ грн.}$$

Змінне встаткування:

$$\frac{29,11 \cdot 0,1 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,1)29,11 = 29,01 \text{ грн.}$$

Поточний ремонт і зміст устаткування:

$$\frac{29,08 \cdot 0,8 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,8)29,08 = 28,29 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування від вартості встаткування:

$$\frac{6,99 \cdot 1,0 \cdot 100}{103,5} = 6,75 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати:

$$\frac{22,96 \cdot 0,8 \cdot 100}{103,5} + (1 - 0,8)22,96 = 22,34 \text{ грн.}$$

Калькуляція собівартості продукції зведена в табл. 7.2

Таблиця 7.2 - Калькуляція собівартості продукції

№ п/п	Статті витрат	Витрати на 1 т ,грн.	
		БВ	ПВ
1	2	3	4
2	Основні матеріали	84021	840,21
3	Відходи	23,61	23,61
4	Газ природний	11,44	11,16
5	Ел. енергія	14,80	14,60
6	Пара	3,33	3,21
7	Вода	2,11	2,04
8	Зарплата	8,93	8,78
9	Змінне встаткування	0,6	0,597
10	Соціальне страхування	3,35	3,29
11	Допоміжні матеріали (у тому числі валки)	28,17	28,17
12	Поточні ремонти й зміст устаткування	29,08	28,29
13	Капітальний ремонт	7,38	7,38
14	Транспортні витрати	0,55	0,55
15	Амортизація осн. засобів	6,99	6,75
16	Інші цехові витрати	5,89	5,89
17	Загальновиробничі витрати	22,96	22,34
Разом:		4009,32	4006,87

7.4 Основні техніко-економічні показники проекту

Економічна ефективність капітальних вкладень:

$$E = \text{Пч.}/K_B,$$

де Пч. – чистий прибуток від реалізації продукції (у рік), грн.;

K_B – величина капітальних вкладень, грн.

Прибуток від реалізації, грн.:

$$\Pi = (\text{Ц} - \text{С})\text{В},$$

$$\Pi = (4012 - 4006,37) \cdot 685399,5 = 1836870,66$$

де Ц - ціна одиниці продукції, грн.;

С - собівартість одиниці продукції, грн.;

В - річний обсяг виробництва продукції, т.

Чистий прибуток, грн.:

$$\text{Пч.} = \Pi - (30\% \cdot \Pi/100),$$

$$\text{Пч.} = 1836870,66 - (30 \cdot 1836870,66/100) = 1285809,5$$

де 30% - податок на прибуток.

$$E = 1285809,5/239880 = 0,5 > E_H (0,2)$$

Строк окупності капітальних вкладень, років:

$$T = 1/E = 1/0,5 = 2,0 < T_H (5 \text{ років})$$

Рентабельність продукції визначаємо по формулі, % :

$$P = (\Pi / \text{С}) 100$$

$$P = (1285809,5/ 1836870,66) 100 = 7$$

Економічний ефект від прийнятих заходів розраховується по формулі,
грн.:

$$E_T = [(C_1 - C_2) - E_H \Delta K] B$$

E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності; ΔK – питомі капітальні вкладення на проведення заходів, грн./од.прод.

$$E_T = [1009,32 - 1006,87) - 0,2 \cdot 0,35] 685399,5 = 1631250,81$$

$$\Delta K = \frac{239880}{685399,5} = 0,35$$

ВИСНОВКИ

1. Раціональний для конкретного НСХП режим деформації повною мірою визначається кількістю клітей, потужністю приводів, законом розподілу обтисків по клітях і наявністю систем регулювання міжвалкового зазору і контролю площинної штаби. Проте за усіх вказаних вище умов оптимальним слід рахувати рівність величин зусиль прокатки в найбільшій кількості клітей стану, що і підтверджується даними роботи. При цьому враховуючи, що режим деформації ($h = \text{const}$) практично однаковий для штаб різної ширини, то при проектуванні режиму деформації енергосилові параметри слід розраховувати тільки для максимальної ширини штаби однієї марки сталі.
2. Створена математична модель оптимізаційної процедури, яка використовувалася в системі автоматизованого проектування режимом обтисків, що дало можливість отримувати оптимальні режими обтисків при холодній прокатці. Ця система враховує наклеп металу, як і вже реально існуючий спосіб проектування режимів обтисків. У цій системі враховуються умови збереження металом запасу пластичності, що є її перевагою.
3. Виконані розрахунки на міцність найбільш навантаженої кліті вказує на достатню надійність і працездатність робочих клітей стану.
4. Установка системи автоматизації на основі розроблених математичних моделей на безперервному прокатному стані 1680, привело до збільшення продуктивності на 2,5%. За рахунок зниження собівартості продукції, капітальні витрати окупляться протягом 2,0 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 320 с.
2. Николаев В.А. Холодная прокатка полос. Запорожье : ЗНТУ, 2011. 126 с.
3. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Технологія виробництва сортового та листового прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2000. Ч. II. 220 с.
4. Васильев Я.Д., Григоренко В.У., Данченко В.Н. Научные основы эффективных технологий производства тонкостенной длинномерной металлопродукции. Днепропетровск : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. 353 с.
5. Железнов Ю.Д. Прокатка ровных полос и листов. Москва : Металлургия, 1971. 200 с.
6. Васильев Я.Д., Сафьян А.М. Производство полосовой и листовой стали. Киев : Вища школа, 1976. 192 с.
7. Мазур В.Л., Сафьян А.М., Приходько И.Ю. Управлением качеством тонколистового проката. Киев : Техника, 1997. 384 с.
8. Робертс В. Холодная прокатка стали. Москва : Металлургия, 1982. 544 с.
9. Грудев А.П. Технология прокатного производства. Москва : Арт-Бизнес-Центр, 1994. 651 с.
10. Рокотян С. Е. Теория прокатки и качество металла. Москва : Металлургия, 1981. 224 с.
11. Будакова А.А., Коновалов Ю.В., Ткалич К.Н. и др. Профилирование валков листовых станов. Киев : Техніка, 1986. 190 с.
12. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. Москва : Металлургия, 1967. 388 с.
13. Байков Е.В. Исследование на непрерывном стане холодной прокатки продольной разнотолщинности полос // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2008. №1. С. 102-105.

14. Агеев Л.М. Управляющие воздействия на форму полосы при прокатке // Труды 4 Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16-19 окт., 2001. Т. 1. 2002. С. 192-197.

15. Lee Dong Nyung, Kim Keun-Hwan. Effect of asymmetric rolling parameters on texture development in aluminum sheets // Abstr. 130th Annual International Meeting and Exhibition of TMS, New Orleans, La, Febr. 11-15, 2001. JOM: J. Miner., Metals and Mater. Soc. 2000. 52, № 11. С. 155.

16. Байков Е.В. Исследование технологии холодной прокатки полос на непрерывном стане с рассогласованием скоростей валков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. 2007. С. 424-427.

17. Гарбер Э., Кожевникова И., Траино А., Кузнецов В., Павлов С. Новые методы моделирования процессов холодной прокатки, обеспечивающие улучшение качества холоднокатаных листов, экономию энергии и увеличение скорости непрерывных станов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2009. №3. С. 108-111.

18. Garber E.A., Traino A.I., Yusupov V.S. Analysis of a Deformation Zone and the Refined Calculation of the Forces for Cold Rolling of Strips Thinner than 0.5 mm in a Continuous Mill // Russian Metallurgy. 2002. Vol. No. 4. P. 340-345.

19. Garber E.A., Nikitin D.I., Shadrunkova I.A., Traino A.I. Calculation of the Cold-Rolling Power with Allowance for the Variable Work of Friction along a Deformation Zone // Russian Metallurgy. 2003. Vol. No. 4. P. 340-346.

20. Назарова Е.С. Исследование системы оптимального управления натяжением полосы стана холодной прокатки // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2012. Вип. 3. С. 161-162.

21. Комановский А. З. Листопркатное производство : справочник. Москва : Металлургия, 1979. 280 с.

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

23. Хензель А. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением : справочник. Пер. с нем. / А. Хензель, Т. Шпигель. Москва : Metallurgiya, 1982. 360 с.

24. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

25. Целиков А.И., Томлёнов А.Д., Зюзин В.И. и др. Теория прокатки : справочник. Москва : Metallurgiya, 1982. 335 с.

26. Новик Ф.С., Арсов Е.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планируемого эксперимента. Москва : Машиностроение, 1980. 265 с.

27. Серета Б.П. Metalловедение и термическая обработка черных и цветных металлов : учебное пособие. Запорожье : ЗГИА, 2002. 264 с.

28. Серета Б.П. Термическая обработка : учебное пособие. Запорожье : ЗГИА, 2003. 270 с.

29. Гуляев А.П. Metalловедение. 5-е издание. Москва : Metallurgiya, 1977. 664 с.

30. Лахтин Ю.М. Metalловедение и термическая обработка металлов. Москва : Metallurgiya, 1979. 368 с.

31. Іващенко О.В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.

32. Чепчунов Ю.П. Себестоимость проката и пути ее снижения. Москва : Metallurgiya, 1985. 57 с.

33. Панасейко С.П., Тарасов В.К., Павленко Ю.П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье : ЗГИА, 2002. 56 с.

34. Жидецкий В.Ц., Джигирей В.С., Мельников А.В. Основы охраны труда. Львов : Афиша, 2000. 351 с.

35. Бринза В.Н., Зиньковский М.М. Охрана труда. Охрана труда в черной металлургии. Москва : Metallurgiya, 1982. 336 с.