Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота магістра

рівень вищої освіти___другий (магістерський) рівень_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему___«Розробка режимів контрольованої прокатки низьколегованих сталей»_____

Виконав: студент ___2__курсу, групи *8.1363-омт*

__Лавров Максим Віталійович_____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація
_____
(шифр і назва)

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

Керівник _Бєлоконь Ю.О._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент __Воденнікова О. С._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

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

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

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

Спеціальність ___*136 металургія*_____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ____***МТЕТБ***_____
_____***Ю. О. Бєлоконь***__

"__" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____Лавров Максим Віталійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта)____«Розробка режимів контрольованої прокатки низьколегованих сталей»_____
_____

керівник роботи (проєкту)_____*Бєлоконь Юрій Олександрович*_____*д.т.н, проф.*___
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "28"___02___ 2024 року № 359-с

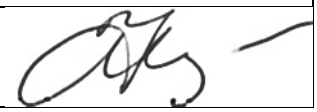
2. Строк подання студентом роботи (проєкта)____*01.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи (проєкта)__Вивчення впливу режиму прокатки на температурне поле прокатуємого металу. Параметр дослідження – механічні властивості низьколегованої сталі. Фактори оптимізації – X_1 – температура кінця прокатки, X_2 – температура нагріву під прокатку, X_3 – швидкість охолодження після прокатки._____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)_*Реферат. Вступ. Літературний огляд. Розрахунково-дослідницька частина, Індивідуальне завдання, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилання.*_____
_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*Креслення, презентаційний матеріал 14 слайдах (на 14 сторінках)*_____
_____
_____
_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Літературний огляд	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Розрахунково-дослідницька частина	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Індивідуальне завдання	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Бєлоконь Ю.О., д.т.н., проф.*	
Нормоконтроль	*Бондаренко Ю.В., к.т.н., доц.*	

7. Дата видачі завдання *01.03.2024*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Реферат*		
3	*Літературний огляд*		
4	*Розрахунково-дослідницька частина*		
4	*Індивідуальне завдання*		
5	*Охорона праці та техногенна безпека*		
6	*Висновки*		

Студент _____ *М. В. Лавров*
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 100 с., 34 рис., 13 табл., 28 джерел.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, КОНТРОЛЬОВАНА ПРОКАТКА, ДЕФОРМАЦІЯ, СИЛА ПРОКАТКИ, ТЕМПЕРАТУРА, СТРУКТУРА, НИЗЬКОЛЕГОВАНА СТАЛЬ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

Об'єкт розробки – параметри контрольованої прокатки низьколегованих сталей в лінії стана гарячої прокатки 1680.

Мета роботи – розробка режимів контрольованої прокатки та формування дрібнозернистої структури з розвиненою субструктурою, що забезпечує отримання високої міцності, пластичності, ударної в'язкості, опору крихкому руйнуванню і зварюваності низьколегованих маловуглецевих сталей.

Метод дослідження – проведення комп'ютерного моделювання та експерименту реалізації контрольованої прокатки варійованими параметрами - температуру нагріву, температуру деформації, зокрема, закінчення деформації, сумарну і одноразову (за 1 прохід) ступінь обтиснення, швидкість прокатки, режими післядеформаційного охолодження.

Показано перспективність розвитку процесу ТМО (термомеханічної обробки) при виробництві прокату з урахуванням її геометричних розмірів та особливостей виробництва: надзвичайно малий перетин і високі швидкості деформації, які відрізняють цей вид металопродукції від інших, отриманих гарячою прокаткою. Представлено результати використання такого інструменту, як моделювання температури, з метою отримання необхідних механічних властивостей прокату при гарячій прокатці. Ураховано наявні технологічні можливості прокатного стану, а також вплив гарячої пластичної деформації та хімічного складу на структуру.

ЗМІСТ

ВСТУП.....7
1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ.....8
1.1 Контрольована прокатка сталі.....9
1.2 Температурне поле штрипсу при прокатуванні на безперервних широкоштрипсових станах.....22
1.3 Структурно-фазові перетворення низьколегованої сталі в процесі контрольованої прокатки.....25
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....35
2.1 Етапи комп'ютерного моделювання.....35
2.2 Регресійне математичне моделювання.....45
3. ЗАКОНОМІРНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....48
3.1 Параметр оптимізації – границя міцності ($\sigma_в$).....49
3.2 Параметр оптимізації – границя текучості ($\sigma_т$).....56
3.3 Параметр оптимізації – відносне подовження (δ) 63
3.4 Параметр оптимізації – ударна в'язкість (KCV) 70
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....78
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища цеха холодної прокатки тонкого листа.....78
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища.....83
4.2.1 Вентиляція і кондиціювання повітря 83
4.2.2 Освітлення на стані гарячої прокатки.....86
4.2.3 Захист від виробничого випромінювання.....88
4.2.4 Захист від виробничого пилу.....88
4.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації.....90
4.3 Заходи з електробезпеки.....91
4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки.....100

4.5 Розрахунок струму, що проходить через тіло людини, при дотику до фазного проводу трифазної трьохдротової мережі з глухозаземленою нейтраллю……...95
ВИСНОВКИ.....97
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....98

ВСТУП

Інтенсивний розвиток науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства, насамперед, указує на необхідність удосконалювання існуючих і впровадження більше прогресивних способів виробництва, підвищення якості металу, вимагає значного збільшення якісної прокатної продукції.

Підвищення надійності роботи устаткування, удосконалювання технології виробництва, застосування нових способів обробки, широке впровадження засобів механізації й автоматизації, а також великі теоретичні й експериментальні дослідження дозволили в останні роки сполучити окремі технологічні операції в нескінченний процес прокатки. Вимоги споживачів прокатної продукції до її якості, що постійно підвищуються, вимагають глибокого вивчення впливу структури й властивостей гарячекатаного підкату, умов деформації, термообробки на кінцеву структуру, якість поверхні й точність геометричних розмірів штаб.

Контрольована прокатка – це оптимізоване нагрівання і прокатний процес, що забезпечують отримання дрібного феритного зерна в результаті двох механізмів - через дрібні рекристалізовані аустенітні зерна, утворені при гарячій прокатуванні в інтервалі середніх температур, і через деформації аустеніту нижче температури рекристалізації, посилює зародження феритних зерен.

Кваліфікаційна робота магістра спрямована на розробку режимів контрольованої прокатки низьколегованих сталей в лінії стана гарячої прокатки 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Контрольована прокатка сталі

Процес контрольованої прокатки як один з прогресивних способів зміцнення прокату широко використовується при виготовленні листової сталі для газопровідних труб великого діаметру, до металу яких пред'являються дуже високі вимоги щодо міцності, пластичності, ударної в'язкості, опору крихкому руйнуванню і зварюваності. Великі перспективи має контрольована прокатка при виготовленні різного профільного прокату для металевих конструкцій.

Контрольована прокатка являє собою багатостадійний процес термомеханічної обробки, що включає в себе операції нагріву, обтиснення у широкому діапазоні температур γ - і γ+α-областей з подальшим охолодженням на повітрі або прискорено.

Мета контрольованої прокатки - формування дрібнозернистої структури з розвиненою субструктурой, що забезпечує отримання високої міцності, пластичності, ударної в'язкості, опору крихкому руйнуванню і зварюваності низьколегованих маловуглецевих сталей.

Контрольована прокатка - це оптимізоване нагрівання і прокатний процес, що забезпечують отримання дрібного феритного зерна в результаті двох механізмів - через дрібні рекристалізовані аустенітні зерна, утворені при гарячій прокатуванні в інтервалі середніх температур, і через деформації аустеніту нижче температури рекристалізації, посилює зародження феритних зерен». Ефект контрольованої прокатки пов'язаний не тільки з подрібненням зерна, але і зі створенням стійкої субструктури, до того ж в багатьох випадках вплив субструктури є переважаючим.

При реалізації контрольованої прокатки варійованими параметрами вважають температуру нагріву, температуру деформації, зокрема, закінчення

деформації, сумарну і одноразову (за 1 прохід) ступінь обтиснення, швидкість прокатки, режими післядеформаційного охолодження.

У зарубіжній та вітчизняній практиці в промислових умовах контрольована прокатка листа здійснюється в дві або три стадії (рисунок 1.1). Перша стадія починається від температури нагріву під прокатку до 950-1000°С, коли відбувається швидка рекристалізація аустеніту, що завершується в межах міждеформаціоної паузи. На другій стадії процесу в інтервалі температур від 950°С до Ar_3 рекристалізація у звичайних сталях може, а в сталях з ніобієм вона практично пригнічено. У цій області температура і ступінь деформації істотно впливають на кінетику рекристалізації. Якщо температурно-деформаційні умови обрані правильно, то зерно зменшується в результаті статичної рекристалізації. Деформація призводить до утворення штрипс ковзання і виділення дисперсних фаз. З підвищенням ступеня деформації зростає кількість штрипс ковзання і збільшується однорідність їх розташування, що сприяє отриманню дрібного рівномірного зерна фериту після перетворення. В результаті підвищується холодостійкість сталі.

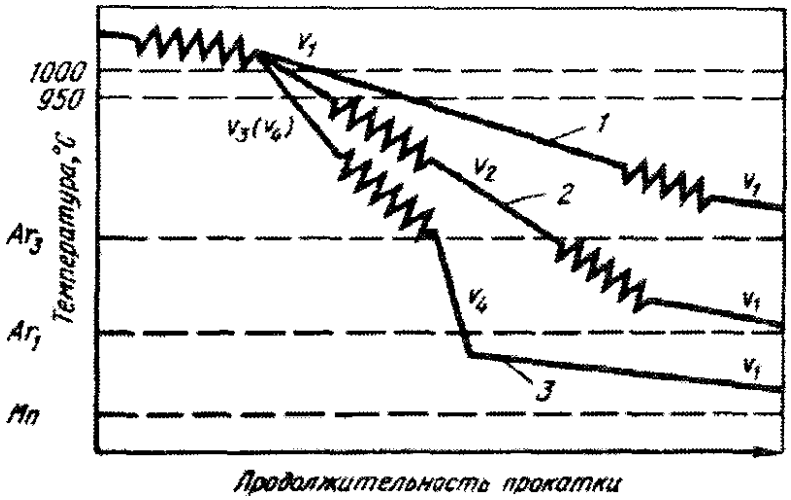


Рисунок 1.1 – Технологічні схеми контрольованої прокатки з різними способами охолодження: v_1=3-7°С/с, охолодження (підстужування) на повітрі; v_2=5-25°С/с, душирующие установки; v_3=50-70°С/с, водоповітряна суміш; v_4=150-200°С/с і вище, пристрої з камерами складного профілю; 1, 2 - прокатка листа із сталі з Nb і V відповідно у два і три стадії; 3 - прокатка листа із сталі без мікродобавок

На третій стадії при температурі нижче Ar_3 процесів дисперсійного зміцнення з подрібненням зерна супроводжує розвиток субзерен текстури, до того ж два останніх фактори мають вирішальне значення в поліпшенні властивостей сталі.

Існують чотири чинники, що зумовлюють подрібнення феритного зерна при контрольованій прокатуванні. Це, по-перше, зниження температури нагріву під прокатку, що приводить до зменшення розмірів вихідного, а отже, і рекристалізованого аустенітного зерна. Другим фактором є уповільнення рекристалізації при гарячій деформації, що може бути досягнуто різними шляхами: зниженням температури і підвищенням ступеня деформації, підвищенням температури рекристалізації за рахунок легування твердого розчину, виділення з твердого розчину перед рекристалізацією або в процесі її дисперсних часток другої фази, що гальмують міграцію меж зерен і блоків. Третій фактор полягає в зниженні температури γ→α-перетворення, що може бути досягнуто відповідним легуванням, так і регулюванням швидкості післядеформаційного охолодження. Нарешті, важливим фактором є запобігання зростання феритного зерна у верхній частині феритної області, наприклад при охолодженні сталі в рулонах. Зазначені чотири механізму не вичерпують усіх можливостей подрібнення феритного зерна при контрольованій прокатуванні. Дрібне феритне зерно може бути також отримано з нерекристалізованого або частково рекристалізованого аустенітного зерна з високою щільністю дефектів кристалічної будови в результаті зародження фериту на дефектах всередині аустенітного зерна.

Ю.І. Матросів виділив вісім стадій технології контрольованої прокатки листа (рисунок 1.2).

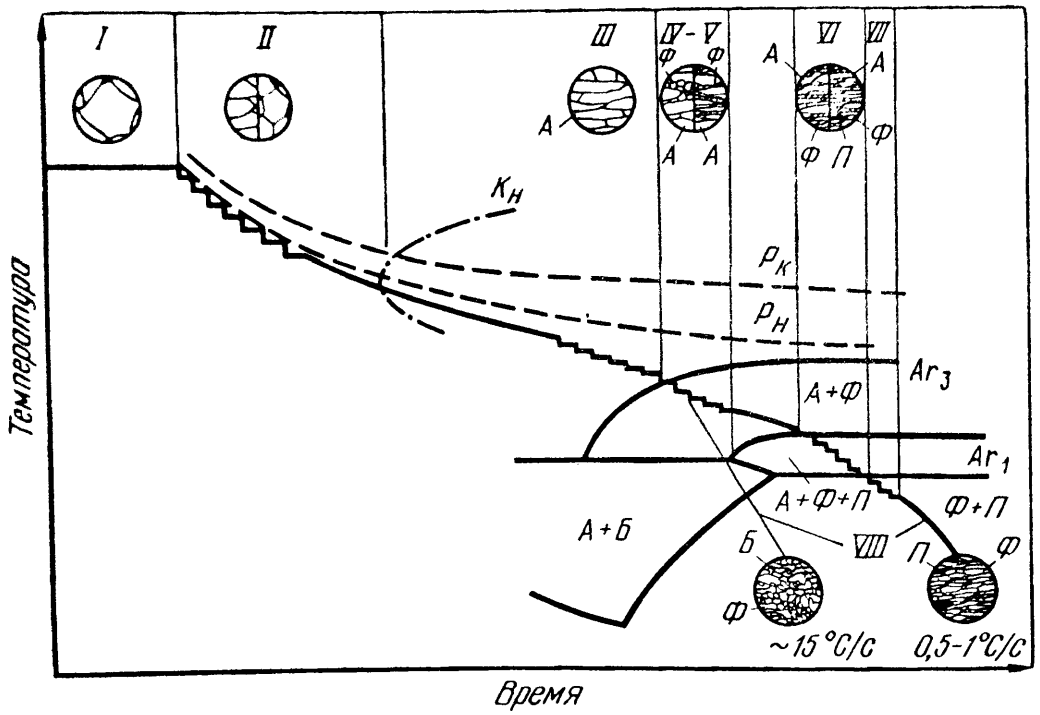


Рисунок 1.2 – Схема технологічного процесу і структурних перетворень при контрольованій прокатуванні; I-VIII - стадії контрольованої прокатки; $Р_н$ і $Р_к$ - початок і закінчення рекристалізації деформованого аустеніту; $К_н$ - початок виділення надлишкових карбонітридних фаз в деформованому аустеніті; Б - бейніт; П - перліт, Ф - ферит

I. Аустенізація при температурах, що забезпечують отримання досить однорідної структури металу перед прокаткою. При цьому температура нагріву під прокатку для більшості сталей, мікролегованих ніобієм, ванадієм і титаном, становить близько 1150-1200°С.

II. Високотемпературна деформація стабільного аустеніту в області швидкоплинних процесів рекристалізації, коли температура деформації вище температури рекристалізації. Мета високотемпературної деформації - одержання можливо більш дрібного зерна аустеніту шляхом чергуються багаторазових обтиснень і рекристалізації. Для низьколегованої сталі з ніобієм ступінь деформації для розвитку динамічної рекристалізації при 1100-1150°С становить 40-60%.

III. Середньотемпературна деформація в нижній частині аустенітної області здійснюється з метою збільшення щільності дефектів кристалічної структури металу і впорядкованого їх розподілу (субструктури), що призводить до множинного освіти феритних обсягів при поліморфном γ→α-перетворенні.

IV. Деформація аустеніту в області поліморфного γ→α-перетворення.

V. Деформація в двофазній γ + α-області. Зниження температури деформації γ + α-області сприяє зміцненню стали, так як при цьому зростає частка зміцнених деформацією зерен ферита.

VI. Деформація в трифазній області, яку доцільно проводити, якщо в комплексі механічних властивостей першорядне значення надається отримання досить високої міцності.

VII. Деформація нижче точки Ar1 можлива при наявності потужного прокатного обладнання і при невисоких вимогах до пластичних характеристик прокату.

VIII. Охолодження сталі після завершення деформації здійснюється на повітрі зі швидкістю охолодження 0,5-1°С/с або в установках ламінарного охолодження прокату зі швидкістю близько 15°С/с.

Аустенітизація. Для стадії аустенітізації ведучими є два взаємопов'язаних процеси: розчинення частинок карбонітридних фаз і зростання зерна аустеніту. Важкорозчинні частинки надлишкової фази гальмують надмірне укрупнення зерна при нагріванні завдяки стримування міграції меж аустенітних зерен. При цьому дисперсні і рівномірно розподілені частинки впливають більш ефективно.

При виборі температури аустенітізації сталі при контрольованій прокатуванні в промислових умовах виходять з необхідності переведення в твердий розчин аустеніту більшої частини карбонітридних фаз з метою їх подальшого керованого виділення в найбільш сприятливій формі в процесі деформації або після її завершення. В той же час враховують необхідність запобігання надмірного укрупнення зерна аустеніту при нагріванні вище температури розчинності карбонітридних фаз. Крім того, слід уникати

одержання неоднорідного, в тому числі великого, зерна аустеніту при нагріванні, так як це призводить до формування небажаної різнозернистості структури сталі. У більшості випадків температура нагріву під прокатку сталей, мікролегованих добавками ніобію, ванадію і титану, становить близько 1150-1200 °С.

Тривалість нагріву слябів в методичній печі призначається з умови їх досить рівномірного прогріву по товщині.

Високотемпературна деформація (чорнова прокатка) в загальному випадку проводиться з метою обтиснення заготовок на задану товщину підкату по режимам, що забезпечує максимальну продуктивність прокатного стану, чому сприяє швидке знеміцнення металу після кожного проходу внаслідок рекристалізації при високих температурах. Проте як елемент ТМО високотемпературна деформація при контрольованій прокатуванні переслідує певну ціль: одержання можливо більш дрібного зерна аустеніту шляхом чергуються багаторазових обтиснень і рекристалізації. Іншими словами, при правильному проведенні високотемпературної деформації її можна розглядати як елемент ВТМО з динамічною рекристалізацією. Тому в промислових умовах високотемпературна деформація проводиться, як правило, не нижче 980-1000 °С. При цих температурах у деформованому аустеніті активно протікають контрольовані дифузією процеси динамічної (а іноді і статичної) рекристалізації.

Динамічна рекристалізація протікає одночасно (<1) з пластичною деформацією. Для неї потрібна висока температура і велика ступінь обтиснення. Для низьколегованої сталі з ніобієм критична ступінь обтиснення, необхідна для розвитку динамічної рекристалізації при 1100-1150 °С, становить 40-60 %. Якщо в процесі високотемпературної деформації вдається реалізувати обтиснення близько 50 %, то відразу після прокатки при цих температурах в результаті повної динамічної рекристалізації утворюється структура, яка складається з дрібних рівновісних зерен з розвиненою субструктурой.

Механізм утворення дрібного зерна полягає в тому, що в процесі динамічної рекристалізації відбувається безперервне утворення нових рекристалізованих зерен в результаті локалізації пластичної деформації в прикордонних обсягах; при цьому, природно, не може зростання зерна.

Розмір зерна, що формується в результаті динамічної рекристалізації, не залежить від вихідного розміру зерна аустеніту і визначається середньою швидкістю, температурою і ступенем деформації.

Мікролегування добавками карбонітридоутворюючих елементів, особливо ніобієм і титаном, перешкоджає динамічної рекристалізації і сприяє зниження її інтенсивності через труднощі міграції кордонів новостворених зерен.

Критична деформація, необхідна для розвитку динамічної рекристалізації, для сталі з ніобієм в 2-3 рази вище, ніж для звичайної вуглецевої сталі з марганцем.

Чорнова прокатка на діючих широкоштрипсових станах при температурах вище 1000°С здійснюється зі ступенями обтиску за прохід не більше 15-35%. Тому динамічна кристалізація повністю не реалізується і знеміцнення відбувається в основному шляхом статичної рекристалізації.

Процес статичної так само, як і динамічної рекристалізації, починається з утворення нових зерен на кордонах деформованих вихідних зерен аустеніту, деформаційних штрипс і двійників. Число рекристалізованих обсягів спочатку залежить від меж площі в одиниці об'єму при даній ступеня деформації. Потім, однак, відбувається зростання динамічно рекристалізованого зерна і зменшення (або зникнення) субструктури всередині нього. Йде статична рекристалізація, темп якої зростає з підвищенням температури і ступеня деформації. Якщо такий хід рекристалізації ускладнити, наприклад, шляхом послідовних обтиснень, то збільшується частота утворення нової рекристалізованої структури і загальмовується зростання виникають на кожному етапі деформації зерен. Обидва ці процеси ведуть до подрібнення зерна, завдяки чому зниження

температури чорнової прокатки сприяє отриманню більш дрібного зерна аустеніту.

Щоб максимально подрібнити зерно перед початком деформації в нижній частині γ-області, можна проводити проміжну подвійну перекристалізацію після чорнової прокатки. Охолодження підкату при цьому здійснюють до температури, що забезпечує протікання γ→α-перетворення (550-450°С), а повторний нагрів до температури, на 20-30°С перевищує Ас3. Отримання однорідного дрібного рекристалізованого зерна перед деформацією в нижній частині γ-області (~920 °С) сприяє формуванню досить дисперсної та однорідної структури після завершення всього циклу контрольованої прокатки. Цей принцип використаний у розробленому японською фірмою «Сумітомо» удосконаленому процесі контрольованої прокатки (так званий SHT-процес) і застосовується при виготовленні листів з особливо високими в'язкісні властивості.

Середньотемпературна деформація. Деформація в нижній частині аустенітної області здійснюється з метою збільшення щільності дефектів кристалічної структури металу і впорядкованого їх розподілу (субструктури), що призводить до множинного освіти феритних обсягів при поліморфному γ→α-перетворенню. Місцями утворення α-фази, крім меж деформованих аустенітних зерен і субзерен, служать штрипси деформації і двійникові кордони, кількість яких зростає із збільшенням ступеня деформації в температурній області, де рекристалізація відсутня. Утворення фериту спостерігається також на частинках карбонітридних фаз, що виділилися з аустеніту.

Найважливіша умова при проведенні прокатки в середньотемпературної області - відсутність рекристалізації, яка могла б вирішити значну частину дефектів кристалічної будови, наведених пластичною деформацією. Досить ефективно сповільнюється рекристалізація при мікролегуванні сталі добавками ніобію і титану (рисунок 1.3). Це вплив відмічається вже при температурі 1000-1100°С, але найбільш сильно воно виявляється при температурах нижче 950°С.

При температурах менше 900°С знеміцнення деформованого аустеніту в сталях з ніобієм (~0,04 % Nb) або з титаном (~0,07 % Ti) при наступних витримках до 1000 с практично не йде, в той час як в нелегованої вуглецевомарганцевої сталі аналогічне явище відзначається лише при температурах не більше 800 °С. Уповільнення рекристалізації аустеніту при мікролегуванні ніобієм і титаном пояснюється: гальмівним (міграцію кордонів) впливом карбонітридів, не розчинилися при нагріванні (≥950 °С); закріпленням (по суті, тим же гальмуванням) меж зерен і субструктури виділяються дисперсними частинками (≤950 °С); загальним уповільненням дифузії через твердорозчинного зміцнення аустеніту атомами ніобію і титану.

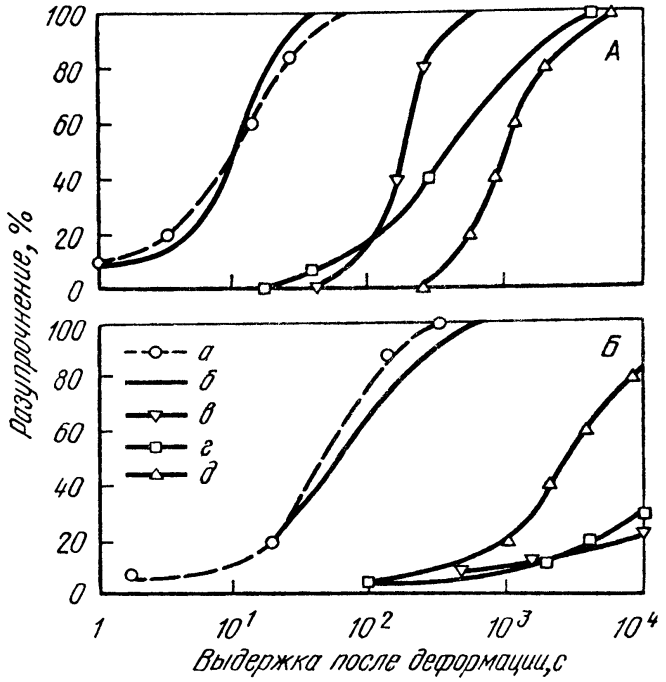


Рисунок 1.3 – Вплив ванадія, ніобія і тітана на кінетику рекрісталізаціі гарячодеформованого аустеніту малоперлітної сталі (склад той самий, що на рисунок 1.2). Температура аустенізації 1150°С, температура деформації 950 (А) та 900°С (Б); а – без мікродомішок; б – 0,10 % V; в – 0,11 % Ti; г – 0,04 % Nb + + 0,07 % V; д – 0,08 % Nb

Процеси виділення карбонітридів ніобію і титану значно прискорюються під впливом деформації аустеніту. Ініційоване деформацією виділення карбонітридних фаз найбільш інтенсивно протікає при 925-875°С. Саме в цьому

інтервалі різко сповільнюється рекристалізація сталей, мікролегованих ніобієм або титаном, щодо швидкості процесу в нелегованої сталі.

Частинки карбонітридних фаз Nb (C, N) і TiC, які виділилися з аустеніту в середньотемпературної області контрольованої прокатки, мають порівняно великі розміри (~10 - 20 нм) і не призводять до дисперсійного зміцнення фериту готової сталі. Для збереження легуючих елементів в твердому розчині до початку γ→α перетворення чорнову прокатку зазвичай закінчують при температурі не менше 980°С і уникають проводити деформацію в середньотемпературної області контрольованої прокатки при температурах інтенсивного виділення Nb (C, N) TiC (950-875°С).

При контрольованій прокатуванні принаймні при температурах вище ≥850°С ванадій в сталях, що містять близько 0,1 % V, не робить настільки істотного впливу на кінетику (стримування) рекристалізації горячедеформированного аустеніту, як ніобій або титан.

Для отримання дрібнозернистої структури велике значення мають обтиснення, здійснювані безпосередньо поблизу точки Ar_3, коли рекристалізація повністю загальмована (830 - 770°С).

Деформація аустеніту в області стимульованого деформацією поліморфного γ→α-перетворення. Вплив деформації (рисунок 1.4) при різних температурах на положення точок $Аг_3^{деф}$; які фіксували по початку розпаду деформованого аустеніту малоперлітної сталі 09Г2ФБ при прокатуванні за один прохід з обтисненням 25%. Зниження температури деформації з 1100 до 780-800°С призводить до підвищення точки $Аг_3^{деф}$ на 50-60 °С. Положення точок $Аг_3^{деф}$ залежить від хімічного складу сталі, ступеня і швидкості деформації.

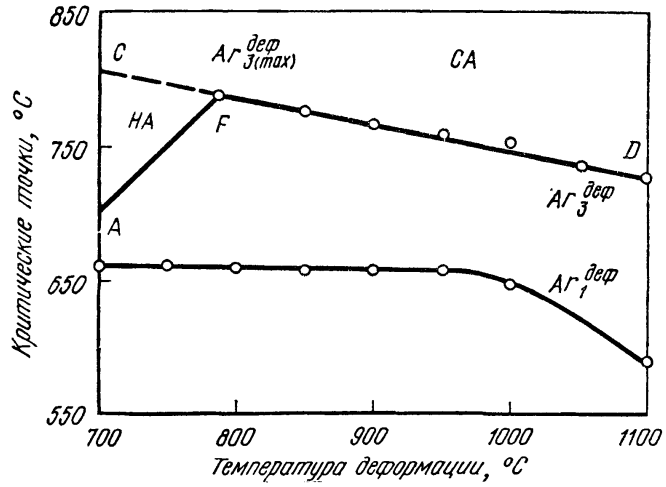


Рисунок 1.4 – Залежність положення критичних точок сталі 09Г2Фб от температури деформації: CD – положення точок початку стимульованої деформацією γ→α-перетворення; AF – початок розпаду нестійкого аустеніту (динамічне перетворення); 4 – стабільний нестійкий аустеніт

Після деформації при температурах вище $Ar_3^{деф}$ (max) для початку розпаду аустеніту потрібно зниження температури від температури деформації до $Ar_3^{деф}$. Це показує, що при температурах вище $Ar_3^{деф}$ (max) деформований аустеніт знаходиться в стабільному стані. При температурах нижче $Ar_3^{деф}$ (max) аустеніт нестійкий; деформація стимулює в ньому перетворення, початок якого збігається з початком власне деформування, тобто перетворення носить динамічного характер. Повнота динамічного γ→α перетворення залежить від температури, ступеня і швидкості деформації. При контрольованій прокатуванні по прийнятим в промислових умовах режимах велика частина деформованого аустеніту розпадається під час пауз між проходами або після завершення деформації.

Зниження температури прокатки в міжкритичної області сприяє подрібненню структури стали, так як в цьому випадку при наявності великого числа утворюються обсягів α-фази обмежується швидкість росту зерна фериту.

Деформація в двофазній області. При багатопрохідної прокатуванні в γ+α-області одночасно з аустенітом деформації піддається ферит, що утворився до цього часу в результаті γ→α-перетворення. Ферит деформаційно

зміцнюється, що визначає загальне підвищення рівня міцності сталі після контрольованої прокатки.

Структура стали після прокатки в γ→α-області містить два типи зерен фериту: недеформовані полігональні з низької щільності дислокацій, що утворилися в результаті γ→α перетворення після завершення деформації, і деформовані, витягнуті уздовж напрямку прокатки зерна з великою щільністю дислокацій і розвиненою субструктурой, що сформувалася в результаті минулих в них процесів повернення і полігонізації. Зниження температури деформації γ+α-області сприяє зміцненню стали, так як при цьому зростає частка зміцнених деформацією зерен фериту. Одночасно подрібнюються зерна фериту і збільшується їх витягнутість уздовж напрямку прокатки (рисунок 1.5).

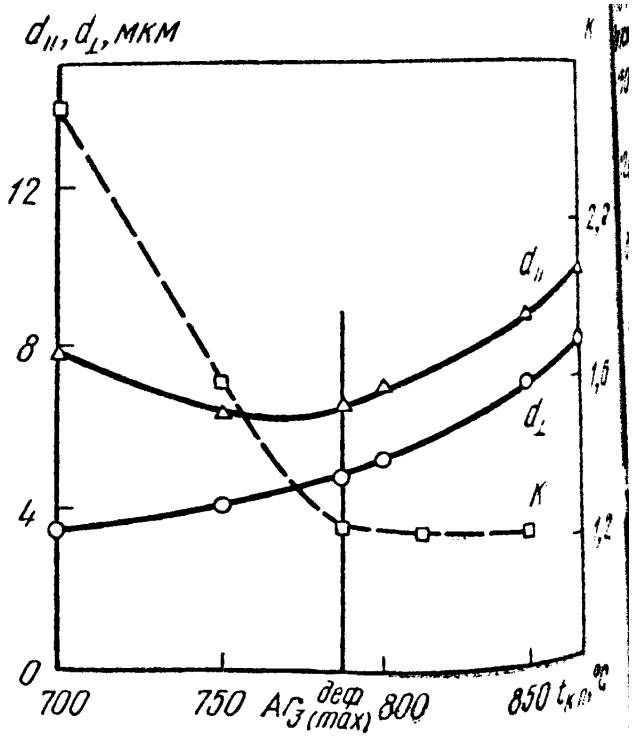


Рисунок 1.5 – Вплив температури закінчення прокатки на розмір зерна фериту малоперлітної сталі типу 09–10Г2ФБ: d_1 та d_2 – поздовжній та поперечний розмір; К – ступінь витягнутості (d_1/d_2)

При проведенні деформації γ+α-областн формується сильновиражена кристалографічна текстура з основними орієнтуванням{112} (110), {111} (112), {111} (110) {100} (110). З пониженням температури покатай інтенсивність

текстури зростає. Посилення текстури з першими двома компонентами сприяє досягненню підвищеного рівня міцності в поперечному напрямку і викликає анізотропію міцності і пластичності. При цьому значення ав і ат на поперечних зразках вище, а відносне подовження нижче, ніж на поздовжніх (рисунок 1.6). Посилення текстури {100} (110) зумовлює особливий, шаруватий характер руйнування. Мікролегування сталі добавками карбонітридоутворюючих елементів (Nb, Ti, V) сприяє посиленню текстури завдяки уповільненню процесів рекристалізації в аустеніті і фериті.

Деформація в трифазній області. Якщо першорядне значення надається отримання досить високої міцності, деформації доцільно закінчувати в області розпаду аустеніту на перлітній щаблі, тобто в схему контрольованої прокатки вноситься елемент ізоформінга (див. рисунок 1.1, стадія VI).

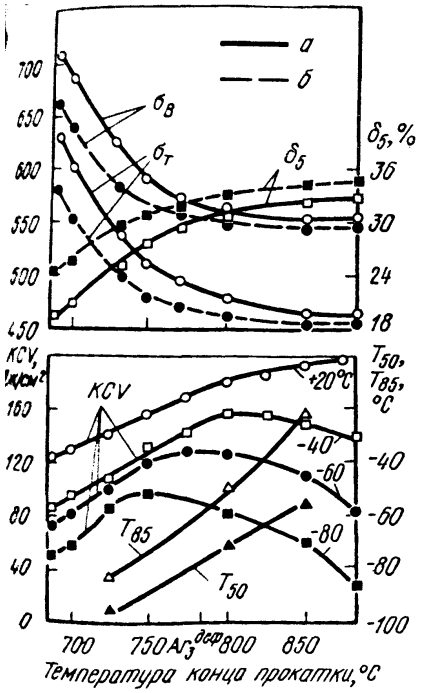


Рисунок 1.6 – Вплив температури закінчення прокатки на міцність, пластичність, ударну в'язкість та опір крихкому руйнуванню сталі типу 09–10Г2ФБ (0,09 % C, 1,55 % Mn, 0,22 % Si, 0,004 % S, 0,010 % P, 0,09% V, 0,05% Nb, 0,03 % Ti, 0,03 % Al, 0,013 % N): а та б – властивості в поперечному і подовжньому напрямку

Деформація нижче точки $Ar_1^{деф}$. З метою істотного зміцнення завершення деформації при контрольованій прокатуванні може закінчуватися трохи нижче точки $Ar_1^{деф}$ (стадія VII). Така деформація можлива при наявності потужного прокатного обладнання і при деякому зниженні вимог до пластичних характеристик прокату.

Охолодження сталі після завершення деформації при контрольованій прокатуванні здійснюється на спокійному повітрі або прискорено із застосуванням систем охолодження. У першому випадку швидкість охолодження в інтервалі температур 50-500°С становить 0,5-1°С/с, у другому (в установці ламінарного типу) - близько 15°С/с, В залежності від хімічного складу сталі і швидкості охолодження γ→α-перетворення може завершитися формуванням структури дрібнозернистою феритно-перлітною, голчастого фериту, феритно-бейнітною або феритно-мартенситної двофазною.

Далі розглянуті механічні властивості та характер руйнування охолодженої на спокійному повітрі малоперлітної сталі, мікролегованої ніобієм, ванадієм і титаном (сталь типу 09-10Г2ФБ), залежно від температури закінчення прокатки в γ - або γ+α-області (див. рисунок 1.6).

При зниженні температури кінця прокатки в аустенітної області від 880 до 800°С слабо змінюються міцність і пластичні властивості і ударна в'язкість при +20°С, але істотно підвищується опір крихкому руйнуванню, оцінюване за положенням порогу холодноламкості Г85 і Г50, а також ударна в'язкість при негативних температурах.

Зниження температури закінчення прокатки ($t_{к.п}$) від $Ar_3^{деф}$ до 750-730°С супроводжується деяким зменшенням відносного подовження і рівня ударної в'язкості при +20°С. Однак, незважаючи на істотне зміцнення, спостерігається подальше поліпшення морозостійкості сталі. Так, перехідна температура T_{50} знижується від -70°С при $t_{к.п}$=800°С до 95°С при $t_{к.п}$ = 750-730°С. Зниження температури кінця прокатки до 680°С викликає значне збільшення міцності при одночасному зниженні пластичності і ударної в'язкості.

Зниження температури закінчення прокатки нижче $Ar_3^{деф}$ призводить до посилення анізотропії властивостей. Контрольована прокатка в γ+α-області дозволяє найбільшою мірою реалізувати позитивний вплив легуючих елементів на міцносні властивості і опір крихкому руйнуванню малоперлітних сталей.

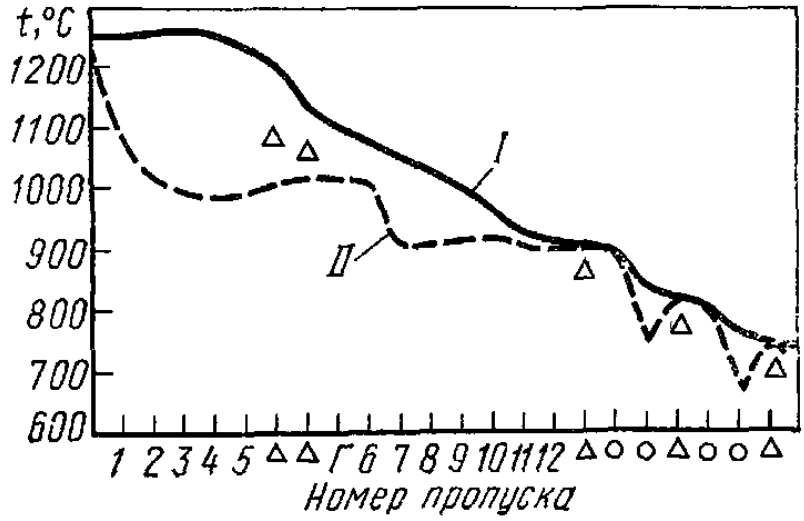
При руйнуванні зразків із сталей, прокатаних по контрольованого режиму з закінченням деформації γ+α-області, спостерігаються вторинні тріщини (або «розщеплення»), перпендикулярні площині основного зламу і паралельні площині прокатки, викликані формуванням текстури з переважанням компоненти {100}. По мірі зниження температури закінчення прокатки тенденція до шаруватого руйнування при ударних випробуваннях посилюється. Максимальна кількість розщеплення спостерігається при випробуваннях в температурному інтервалі переходу від в'язкого руйнування до крихкого; у разі повністю крихкого руйнування розщеплення відсутні. Високий відпустку після контрольованої прокатки зменшує кількість розщеплення, а нормалізація усуває їх повністю.

Розщеплення позитивно позначаються на опір крихкому руйнуванню зразків, вирізаних у поздовжньому і поперечному напрямках до осі прокатки, і знижують в'язкість в напрямку товщини прокату (в z-напрямку).

1.2 Температурне поле штрипсу при прокатуванні на безперервних широкоштрипсових станах

Розробка нових технологічних режимів гарячої прокатки широкої штрипси і вдосконалення діючих пов'язані із застосуванням точної температурної моделі процесу. Точність моделювання температурного режиму штрипси визначається рядом факторів, одним з яких є повнота обліку статей теплового балансу (тепловіддача випромінюванням; природна і вимушена конвекція; тепловіддача валка, воді гідрозбивів та встановлення примусового охолодження) і коректного застосування алгоритму розв'язання задачі.

На рисунку 1.7 показано зміну температури верхньої поверхні і середини штрипси товщиною 12 мм в процесі руху розкату по стану, починаючи з моменту видачі сляба з печі до моменту змотування штрипси в рулон. Криві побудовані за температур, що відповідають моментам входу у валки. Порівняння розрахункових температур поверхні штрипси з показниками цехових пірометрів в контрольних точках показує задовільну збіжність результатів. Максимальна абсолютна похибка розрахунку становить 28ºС і досягається після чорнової прокатки.



Рисинок 1.7 – Зміна температури верхньої поверхні і середини розкату при прокатуванні штрипси товщиною 12 мм: I - середина литста; II - верх листа; Δ - показання і місце установки пірометра; О - примусове охолодження; г - гідрозбив; п – пірометр

Зміна температурного поля по товщині розкату при прокатуванні штрипси товщиною 12 мм представлено на рисунок 1.8, з якого видно, що температура в слябі розподілена рівномірно по товщині. Крайні ліві точки епюр лежать на верхній поверхні штрипси. Розрахункові дані показують істотну неоднорідність температури по товщині.

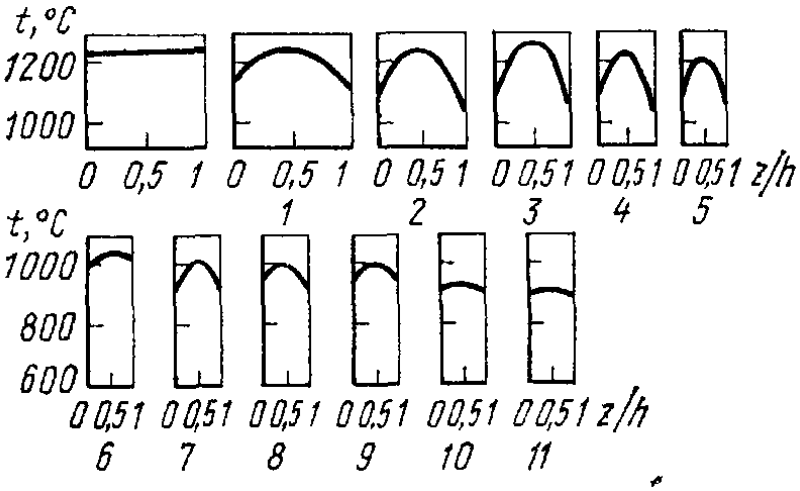


Рисунок 1.8 – Розподіл температури по товщині розкату при прокатуванні штрипси товщиною 12 мм; 1-11 - номери клітей

Розподіл температури верхньої поверхні по довжині штрипси товщиною 6 мм при прокатуванні в чистовій групі з прискоренням, рівним 0,027 м/с^2 зображено на рисунку 1.9 Розрахункові криві наведені відповідно для моментів проходження штрипсою п'яти контрольних пірометрів, встановлених на стані: перед чорновий групою (рисунок 1.9, а), після чорнової (рисунок 1.9, б), перед чистової (рисунок 1.9, в), після чистової групи (рисунок 1.9, г) і на вході в другу моталку (рисунок 1.9, д). Максимальна помилка розрахунку складає 24°С на передньому кінці штрипси в кінці прокатки (див. рисунок 1.9, г).

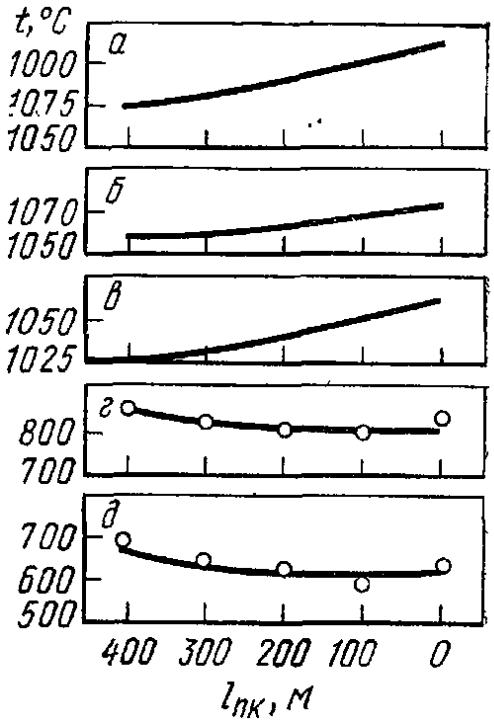


Рисунок 1.9 – Розподіл температури по довжині штрипси товщиною 6 мм у момент проходження нею контрольних пірометрів ($l_{пк}$ - відстань від переднього кінця штрипси): а - перед чорновий групою; б - після чорнової групи; в - перед чистової групою; г - після чистової групи; д - на виході до другої моталки

1.3 Структурно-фазові перетворення низьколегованої сталі в процесі контрольованої прокатки

Завдання технологічних етапів КП полягає в отриманні структури, що забезпечує високі характеристики міцності сталі при достатньому рівні пластичності і в'язкості. Досягти високих показників механічних характеристик можливо подрібненням структури, регулюванням виділення карбонітридів, управлінням рекристалізаційними процесами і кінетикою перетворення аустеніту, підданої гарячій пластичній деформації і т.д. Основні етапи КП включають в себе аустенізацію або нагрівання слябів перед прокаткою, попередню деформацію (чорнову стадію процесу) при температурі вище температури рекристалізації аустеніту, підстужування підкату, остаточну

деформацію (чистову стадію процесу) в області гальмування рекристалізації аустеніту або в γ+α області і прискорене охолодження прокату.

Температурний інтервал закінчення стадії чистової контрольованої прокатки має визначальне значення, істотно впливаючи на кінцеву мікроструктуру і механічні властивості готових листів. При виробництві низьколегованого прокату широко застосовуються дві стратегії КП:

• високотемпературна КП, що характеризується підвищеною температурою кінця прокатки і закінченням деформації в аустенітної області ($Т_{кп} > Ar_3$). Як правило, застосовується в сукупності з інтенсивним спреєрним і ламінарним прискореним охолодженням;

• низькотемпературна КП, яка характеризується зниженою температурою кінця прокатки і закінченням деформації в аустеніт-феритної області ($Т_{кп} < Ar_3$). Найчастіше реалізується у поєднанні з менш інтенсивним ламінарним прискореним охолодженням і регламентованим відносним обтисненням в останньому чистового проході. Спроби виконати важливу кількісну оцінку температури аустеніт-феритного перетворення Ar_3, що характеризує проектовані режими КП, супроводжуються значними труднощами, зумовленими складною зв'язком між параметрами процесу, температурними змінами при прокатуванні і недостатньо вивченими процесами формування і перетворення мікроструктури сучасних низьколегованих сталей.

В роботі були проведені ділатометричні дослідження зразків низьколегованої трубної сталі різних класів міцності. Дані хімічного складу досліджуваних зразків зіставлені з експериментально знайденими температурами критичних точок, таким чином отримана вихідна вибірка для подальшого кореляційно-регресійного аналізу, виконаного в програмі STATISTICA. Аналіз прогнозованих і спостережуваних значень змінної Ar_3 представлений на рисунку 1.10. Отримана числова залежність температури критичної точки Ar_3 представлена у виразі (1.1).

$$Ar_3 = 736+180(C+Cr)+1207(S+P)–11(Si+Mn+Ni+Cu+Mo)+ \quad (1.1)$$
$$+755(Al+N)–329(V+Nb+Ti), ^oC$$

де C, Si, ***S,*** P, Mn, Cr, Ni, Cu, Mo, Al, N, V, ***Nb*** и Ti – процентний вміст в сталі вуглецю, кремнію, сірки, фосфору, марганцю, хрому, нікелю, міді, молібдену, алюмінію, азоту, ванадію, ніобію й титану відповідно.

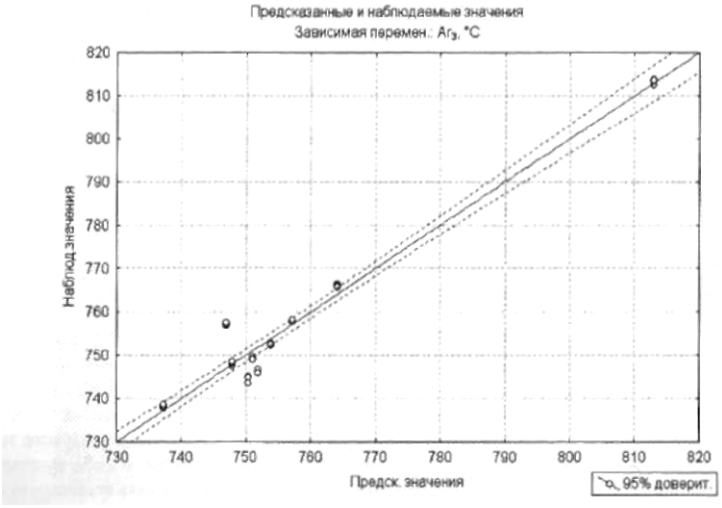


Рисунок 1.10 – Передбачені і спостережувані значення температури аустеніт-феритного перетворення низьколегованої трубної сталі при безперервному охолодженні

Хімічні елементи у виразі (1.1) скомпоновані по групам впливу на структурно-фазові перетворення низьколегованої трубної сталі:

- (C+Cr) - зміцнюючі елементи, що безпосередньо впливають на інтервал існування δ-фериту, що дозволяє гомогенізувати твердий розчин, підвищуючи однорідність розподілу хімічних елементів завдяки тому, що дифузойна рухливість атомів вуглецю і хрому в δ-фериті на кілька порядків перевищує швидкість їх дифузії в аустеніті;

- (S+P) - шкідливі домішки, внаслідок зниженої їх розчинності у фериті, дифундують до кордонів зерен, надаючи вплив на кількість і якість «зародків» - місць утворення феритної фази;

- (Si+Мп+Ni+Ci+Mo) - легуючі елементи, що входять до складу твердого розчину аустеніту і знижують температуру початку розпаду аустеніту;

- (Al+N) - технологічні домішки, що вплив цих елементів пов'язано з тим, що в α-залізі порівняно з γ-залізом їх розчинність виключно мала і при полиморфном γ-α-перетворення утворюється перенасичений твердий розчин;

- (V+Nb+Ti) – карбонітридоутворюючі елементи, що утворюють із залізом твердий розчин заміщення. Невідповідність атомних радіусів цих елементів і заліза призводить до спотворення кристалічної решітки твердого розчину і як наслідок до уповільнення всіх процесів, контрольованих дифузією, включаючи рекристалізацію і фазові перетворення.

Однак, температура Ar_3, визначена методом ділатометричних випробувань без урахування впливу деформаційних режимів обробки металу, буде відрізнятися від фактичної, має місце безпосередньо в процесі прокатки. При швидкості охолодження модельної сталі 0,5°С/с (швидкість охолодження розкату під час останніх проходів стадії чистової прокатки з урахуванням деформаційного розігріву) відносні обтиснення на рівні 15-20% підвищують температуру аустеніт-феритного перетворення приблизно на 20°С. Отже, штучно збільшивши експериментально отриману температуру фазового перетворення Ar_3 на 20°С, ми компенсуємо вплив деформації. Таким чином вираз (1.1) приймає вигляд:

$$Ar_3 = 756+180(C+Cr)+1207(S+P)–11(Si+Mn+Ni+Cu+Mo)+ \quad (1.2)$$
$$+755(Al+N)–329(V+Nb+Ti),\ ^oC$$

Стадія прискореного охолодження забезпечує додаткове подрібнення зерна фериту, зміна співвідношення структурних складових та зменшення розміру частинок надлишкових фаз. Основна мета прискореного охолодження при виробництві низьколегованих сталей - попередження перетворення аустеніту в перліт і утворення однорідної дрібнозернистої ферито-бейнітною мікроструктури, що складається з квазіполігонального фериту і колоній

бейніта, переважно глобулярної морфології.

Ясно що ключове значення має температура перлітового перетворення сталі при охолодженні Ar_1. Аналіз прогнозованих і спостережуваних значень змінної Ar_1 згідно з проведеними дослідженнями представлений на рисунку 1.11. Отримана числова залежність температури критичної точки Ar_1 представлена у виразі (1.3).

$$Ar_1 = 577+196(C+Cr)+3023(S+P)+18(Si+Mn+Ni+Cu+Mo)+ \quad (1.3)$$
$$+1040(Al+N)–441(V+Nb+Ti),\ ^oC$$

де C, Si, ***S,*** P, Mn, Cr, Ni, Cu, Mo, Al, N, V, ***Nb*** и Ti – процентний вміст в сталі вуглецю, кремнію, сірки, фосфору, марганцю, хрому, нікелю, міді, молібдену, алюмінію, азоту, ванадію, ніобію й титану відповідно.

Таким чином, в результаті проведених в роботі дилатометричних досліджень отримано формули для розрахунку температури критичних точок Ar_3 і Ar_1, з допомогою яких можливо однозначно встановлювати дійсні температури фазових перетворень складнолегованих конструкційних трубних сталей різних класів міцності.

Ця інформація необхідна при проектуванні нових і вдосконаленні існуючих режимів прокатки і охолодження товстого листа.

Принципові схеми різних стратегій КП+УО з використанням одержаних даних про температурах структурно-фазових перетворень низьколегованих трубних сталей представлені на рисунках 1.12 і 1.13.

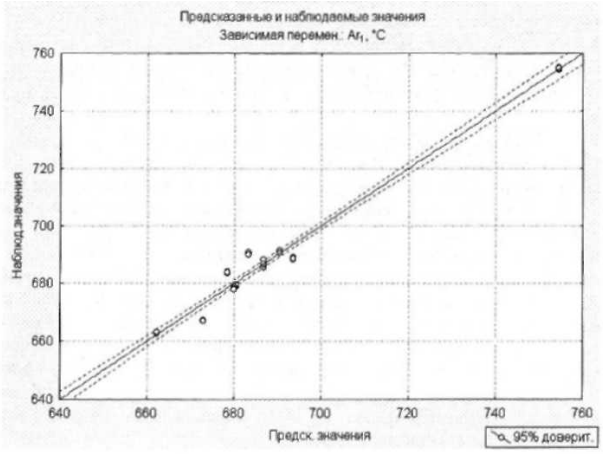


Рисунок 1.11 – Передбачені і спостережувані значення температури перлітового перетворення низьколегованої трубної сталі при безперервному охолодженні

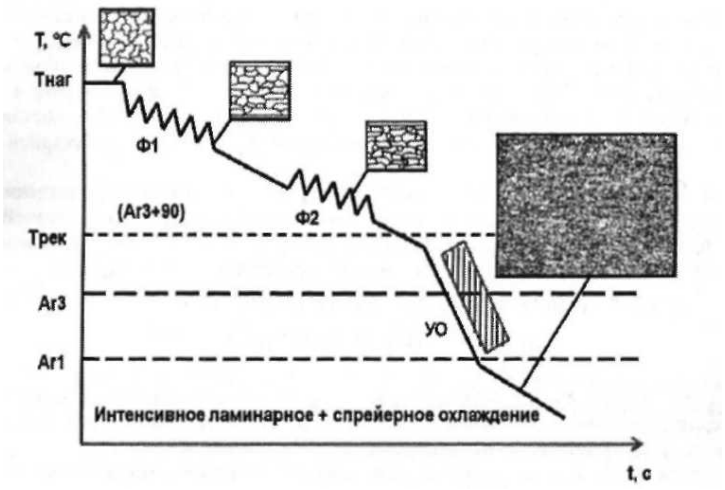


Рисунок 1.12 – Технологічна схема високотемпературної КП + УО

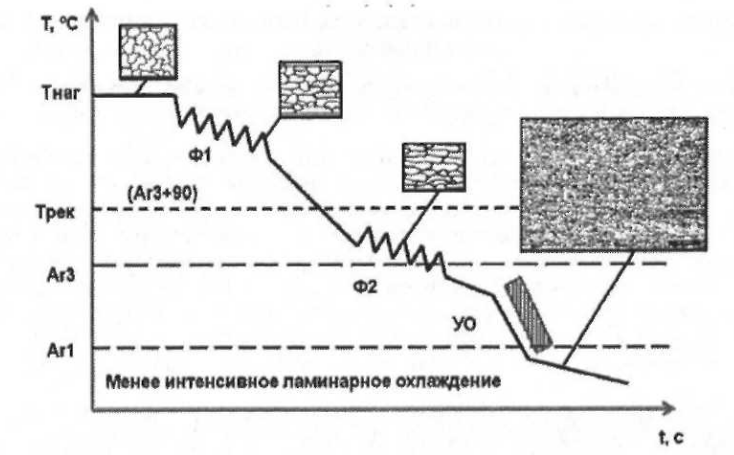


Рисунок 1.13 – Технологічна схема низькотемпературної КП + УО

Ефект контрольованої прокатки найбільш повно проявляється в низьковуглецевих сталях, мікролегованих сильними карбідо - і нірідоутворюючих елементами. Вплив мікролегування реалізується як через його вплив на знеміцнюючі процеси в аустеніті, а отже, і на величину зерна аустеніту і фериту, так і через зміцнення за рахунок виділення дисперсних частинок.

Виділення дисперсних карбонітридів ніобію і ванадію може відбуватися як в аустеніті, так і в фериті. Найбільш інтенсивне виділення карбонітридів ніобію в аустеніті спостерігається при 850-870°С, а карбонітридів ванадію - нижче 800°С. В фериті процеси виділення карбонітридної фази протікають з помітною швидкістю при температурі не нижче 550°С. Зазначені процеси підкоряються загальним закономірностям, властивим явищ старіння сплавів, і складаються зі стадій утворення когерентних зародків виділень, порушення когерентності і зростання карбонітридних частинок. Вважають, що при 550-650°С істотне значення має перша стадія розпаду твердого розчину - стадія перед виділення. На цій стадії карбонітриди виділяються у вигляді тонких пластин товщиною 1-5 нм, когерентних фериту. Наявність когерентних виділень призводить до сильного спотворення кристалічної решітки. Тим самим створюються перешкоди для вільного переміщення дислокацій у фериті, що викликає його зміцнення. Зростання товщини пластин до 5-10 нм викликає невідповідність на межі розділу карбонітрида з твердим розчином, внаслідок чого відбувається зрив когерентності і знеміцнення сталі. Частинки надлишкової фази гальмують міграцію зеренних і субзеренних кордонів, з якою пов'язаний розвиток процесів знеміцнення. Міграція частинок і субграниць в поле когерентних частинок веде до ослаблення або усунення когерентності, що може призвести до збільшення міжфазної поверхні енергії. На підставі термодинамічного аналізу можна показати, що максимальний радіус утворюється зерна (субзерна)

$$R \leq (\sigma/\Delta\gamma)\cdot l \qquad (1.4)$$

де σ - поверхнева зернограничная енергія; Δγ - зміна міжфазної поверхневої енергії при міграції кордону (субграниці); *l* - відстань між пластинами другої фази.

Ефективність когерентних включень при значних змінах міжфазної поверхневої енергії виявляється більшою, ніж в інших випадках. Дисперсійне твердіння призводить до зростання критичної температури крихкості. Тому його можна використовувати лише в тому випадку, якщо при певних режимах гарячої деформації створити достатню фрагментацію металевої матриці.

Мікролегування ніобієм значно гальмує знеміцнюючі процеси у горячодеформованом аустеніті. Для отримання вираженою субструктури в аустеніті прокатку сталі з ніобієм можна закінчувати при температурі, на 50-100°С перевищує температуру прокатки вуглецевої сталі. Ванадій надає аналогічне вплив на разупрочняющие процеси, але дія його виявляється більш слабким. При вмісті ванадію 0,1% динамічний повернення йде швидше, ніж при 0,03% Nb. Мікродобавки ванадію, алюмінію і титану практично не впливають на температуру рекристалізації, а тільки дещо стримують зростання зерен після рекристалізації. Ніобій помітно затримує початок рекристалізації і зростання зерен аустеніту. У той же час ванадієва сталь більш схильна до стирання, ніж ніобіевая.

Все сказане обумовлює доцільність спільного мікролегування ніобієм і ванадієм низьковуглецевих сталей, що піддаються контрольованій прокатуванні. Значення додаткового легування ванадієвої сталі ніобієм добре видно з порівняння механічних характеристик сталей 08Г2АФ і 07Г2ФБ. Сталь 08Г2АФ, що містить нітриди ванадію, дещо перевершує сталь 07Г2ФБ за характеристиками міцності, однак помітно поступається їй за ударної в'язкості і критичної температури крихкості.

Ефект контрольованої прокатки сталей, легованих ніобієм і ванадієм, значною мірою залежить від ступеня переходу цих елементів у твердий розчин при нагріванні під прокатку. Необхідна температура нагріву визначається в

залежності від вмісту вуглецю і карбідоутворюючу елементів. Наприклад, при утриманні 0,1% і 0,03-0,4% Nb нагрівання до 1200°С виявляється достатньою для переведення карбонітридів у твердий розчин. Збільшення змісту вуглецю і карбідоутворюючого елемента призводить до необхідності підвищення температури нагріву. Найбільш повне використання карбонітридного зміцнення при контрольованій прокатуванні можливо в сталях з пониженим вмістом вуглецю. Тому останнім часом намечается перехід до малоперлітної сталі, що володіє до того ж підвищеної зварюваністю.

Гаряча пластична деформація в аустенітної області ініціює виділення карбонітридних фаз в аустініті. Частки, що виділяються в цих умовах, мають досить великі розміри (30-50 нм) і не мають орієнтаційного зв'язка з матрицею. Такі частинки сприяють подрібненню зерна, уповільнюють рекристалізацію аустеніту і є додатковими центрами перекристалізації при γ→α-перетворення. Однак прямого впливу на зміцнення за рахунок дисперсійного твердіння ці частинки не впливають. Більш того, завдяки їх виділення зменшується вміст карбідоутворюючу елементів в твердому розчині і тим самим знижується ефект дисперсіоного зміцнення в феритної області. У зв'язку з цим при розробці конкретних режимів контрольованої прокатки прагнуть обмежити процеси виділення в аустеніті. Найбільш інтенсивне виділення карбонітрида ніобію відбувається при 850-880°С. Тому деформація сталі з ніобієм в цьому температурному інтервалі призводить до зниження міцнісних властивостей порівняно з прокаткою при більш високій температурі (980-1000°С). Є рекомендації контрольовану прокатку сталей з ніобієм здійснювати дискретно в двох температурних інтервалах: чорнову при 1200-1080°С, чистову нижче 800°С. Між цими температурними інтервалами рекомендується здійснювати прискорене спрейерне охолодження з метою запобігання виділення грубих частинок карбонітридів ніобію.

В реальних умовах виробництва, в залежності від хімічного складу сталі, необхідних властивостей і ряду інших факторів можна використовувати різні режими контрольованої прокатки. Так, якщо основною вимогою до прокату є

висока ударна в'язкість при помірному рівні міцності, то доцільно впливати насамперед на знеміцнюючі процеси в аустеніті, не досягаючи значного прояву дисперсійного твердіння. В цьому випадку нагрів під прокатку слід вести до можливо більш низьких температур, а деформацію закінчувати не нижче 800°С.

Контрольована прокатка листа спочатку була освоєна за кордоном, а дещо пізніше на МЛС та ШСГП в Радянському Союзі. Хоча і вважається, що контрольована прокатка найбільш ефективна для сталей, мікролегованих сильними карбідо - і нітридоутворюючими елементами, доцільно її застосування і для звичайних вуглецевих і низьколегованих сталей.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Етапи комп’ютерного моделювання

У програмному комплексі DEFORM – 3D існують 3 основні етапи моделювання:

1) Препроцесор;
2) Вирішувач;
3) Постпроцесор.

Препроцесор служить для створення моделі об'єкту дослідження (геометрична і розрахункова), завдання параметрів моделі - сітка, температура, пластичність та ін., характеристики контакту - коефіцієнт тертя, коефіцієнт теплопередачі, визначаються точки контакту інструменту із заготівлею, робиться налаштування вирішувача, здійснюється генерація баз даних.

У вирішувачі відбувається розрахунок поставленого завдання.

Постпроцесор служить для обробки результатів моделювання. У нім можливе графічне представлення результату обчислення по кроках (загальне, у вказаній точці, між двома точками), визначення напряму течії матеріалу, виведення інформації в якості текстових, графічних і відео файлів.

Розглянемо кожен пункт детально, стосовно процесу прокатки. В главі пов'язаної з розрахунками в Deform застосовуватиметься така ж послідовність дій, з особливостями для кожного випадку, які вказуватимуться.

Запускаємо Deform, і перед нами з'являється головне вікно (рисунок 2.1). У нім відображаються все раніше створені бази даних (1), вікно повідомлень про процес моделювання (2), меню препроцесор (3), процесор (вирішувач) (4), постпроцесор (5).

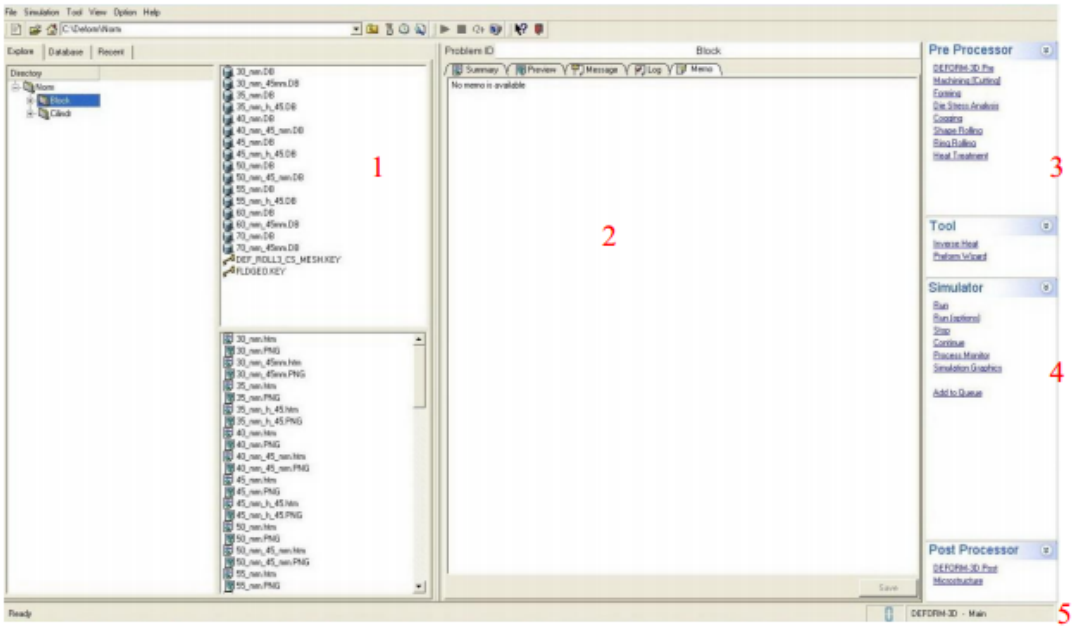


Рисунок 2.1 - Головне вікно Deform

У меню 3 вибираємо завдання, яке збираємося вирішувати, в нашому випадку це Shape Rolling. Завданню необхідно присвоїти ім'я, в нашому випадку - Roll (рисунок 2.2).

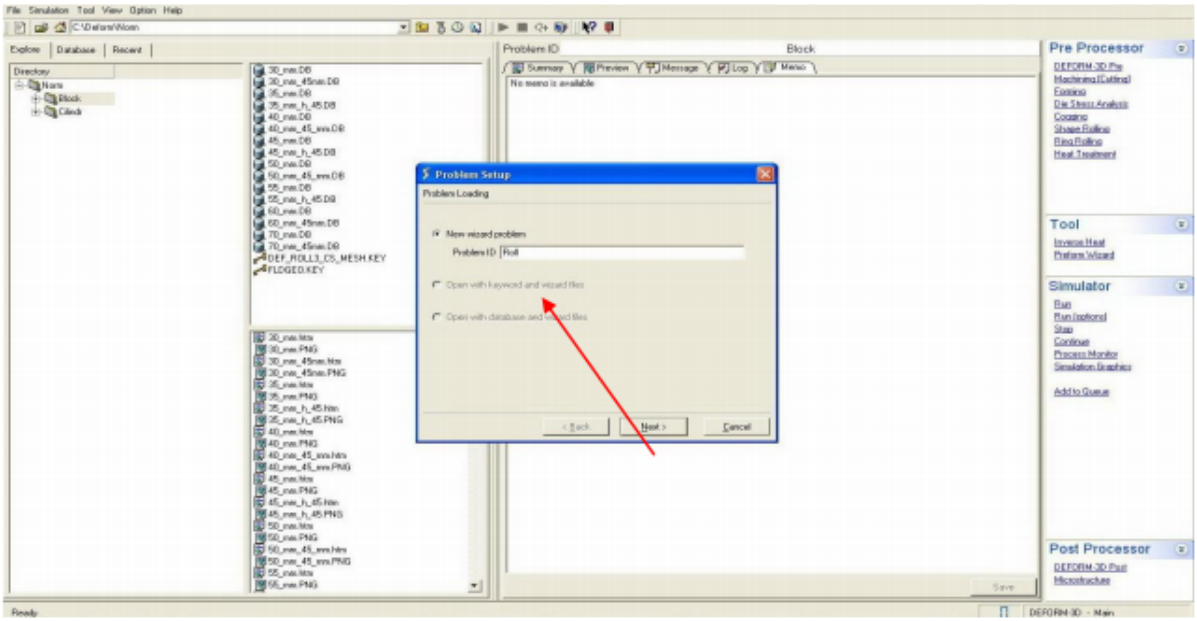


Рисунок 2.2 - Створення і привласнення імені новому завданню

Присвоївши ім'я, натискаємо кнопку Next, відкриється меню препроцесора для нашого завдання (рисунок 2.3).

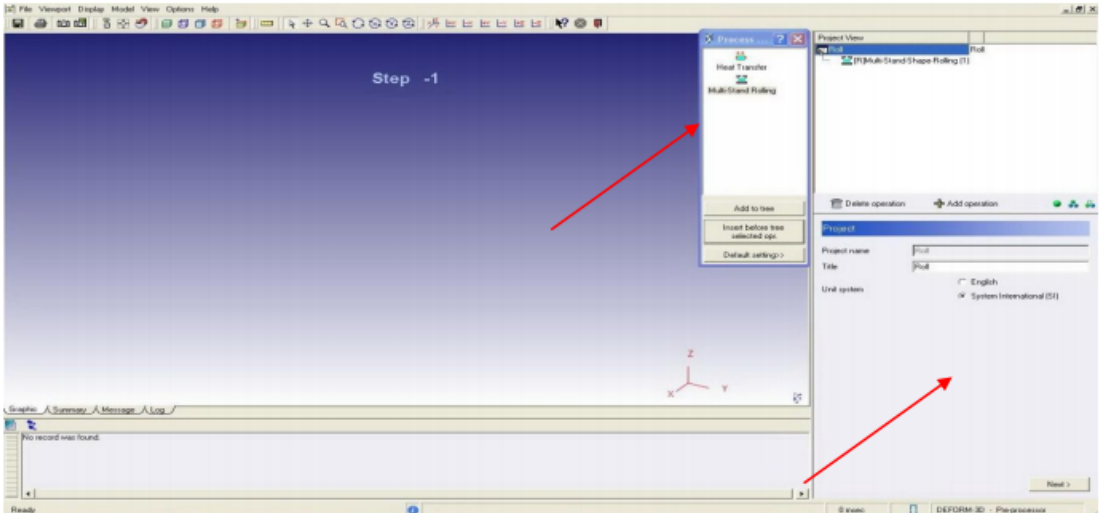


Рисунок 2.3 - Меню препроцесора

У меню, що з'явилося, вибираємо Milti - Stand Rolling. Пам'ятаємо про одиниці виміру (нам потрібна система CI). Натискаємо Next. Далі з'явиться меню розрахунку температури (рисунок 2.4).

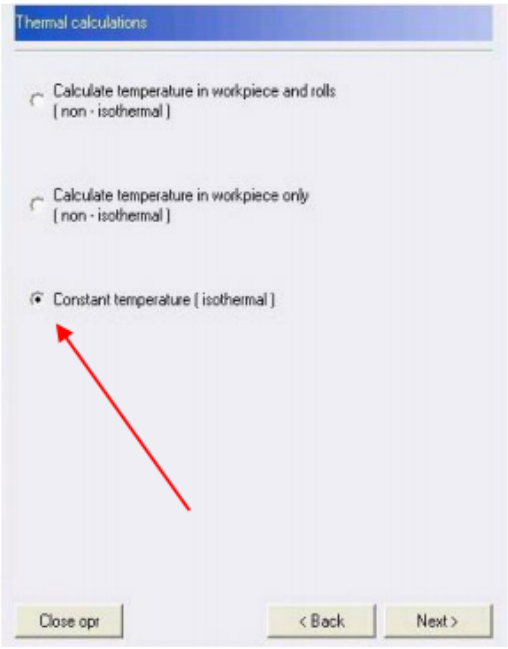


Рисунок 2.4 - Меню розрахунку температури

У нашому завданні температура буде постійною. Натискаємо Next і переходимо в меню вибору моделі заготівлі.

Для прискорення розрахунків вибираємо чверть (рисунок 2.5).

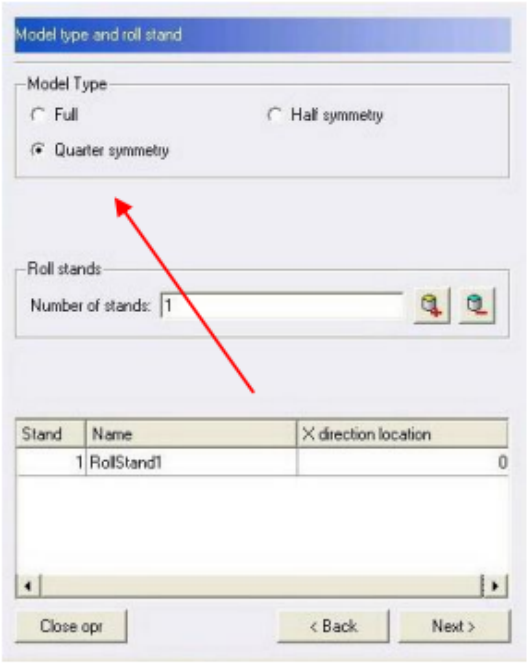


Рисунок 2.5 - Вибір моделі заготівлі

Наступний пункт - визначення геометрії для валка: радіус, скруглення, ширина і проміжок (рисунок 2.6).

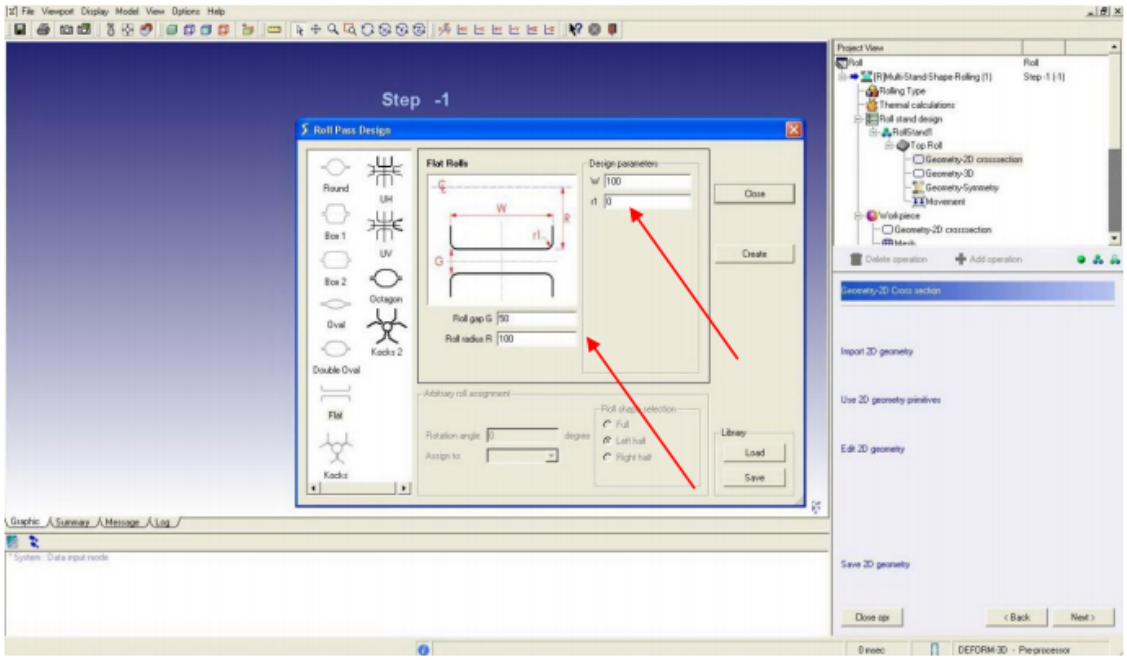


Рисунок 2.6 - Визначення геометрії валка

Валок вибираємо циліндричної форми і натискаємо Next. З'являється контур валка (рисунок 2.7), який шляхом обертання навколо своєї дасть нам 3d модель (рисунок 2.8).

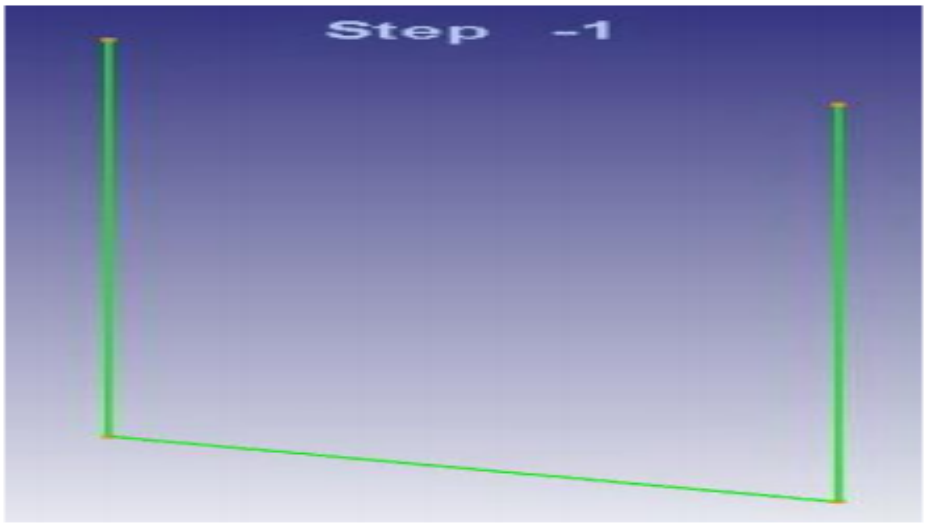


Рисунок 2.7 - Контур валка

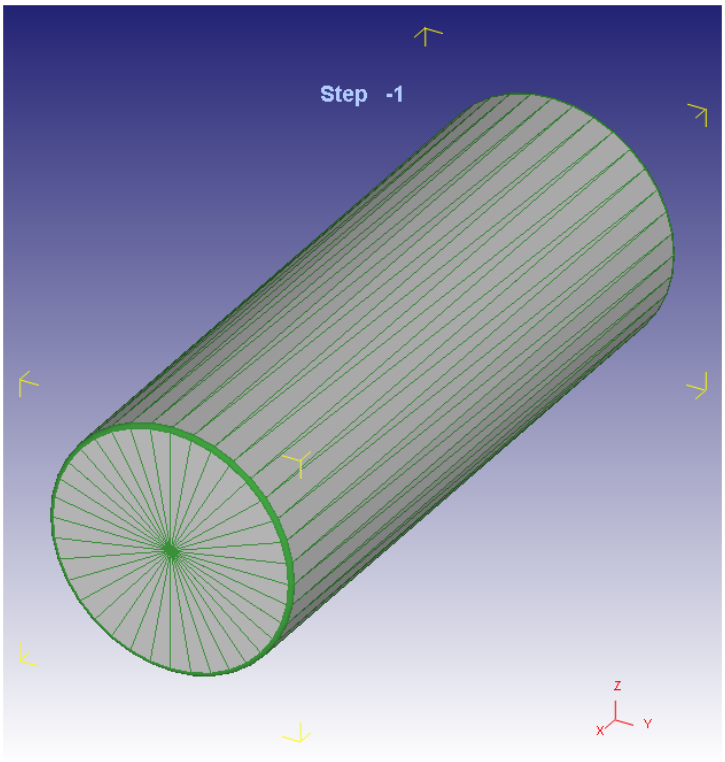


Рисунок 2.8 - 3d модель валка

Далі задаємо круговий рух валка (рисунок 2.9).

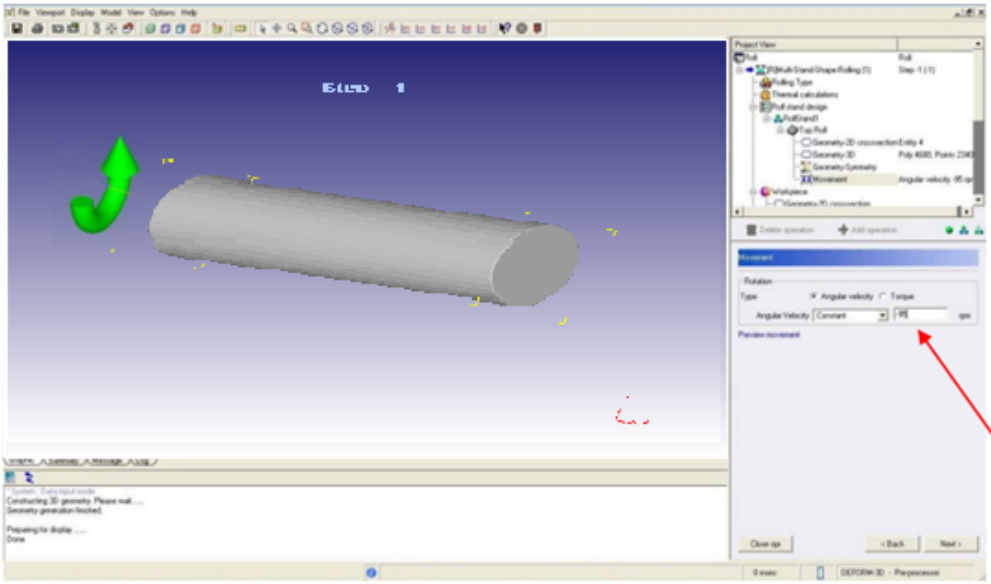


Рисунок 2.9 - Завдання кругового руху валка

У наступному меню задається довжина і температура заготівлі (рисунок 2.10).

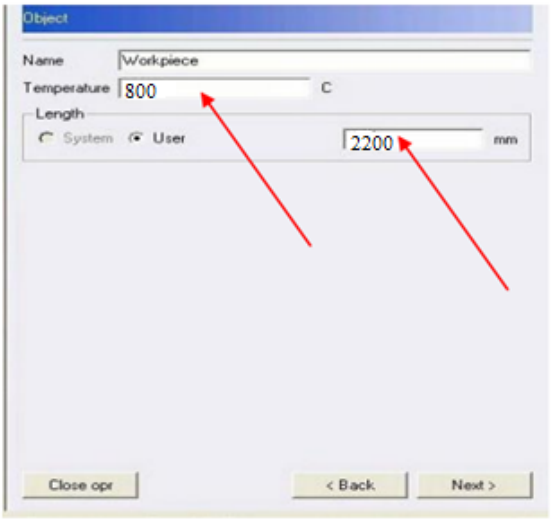


Рисунок 2.10 - Задається довжина і температура заготівлі

Далі потрібно визначити геометрію заготівлі, за умовчанням є 2 типи паралелепіпед (рисунок 2.11) і циліндр (рисунок 2.12). Введення розмірів просте і зрозуміле.

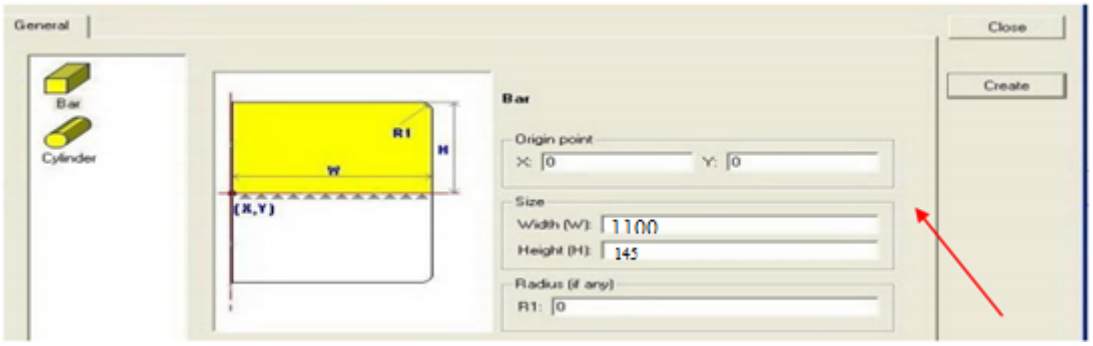


Рисунок 2.11 - Завдання розмірів для паралелепіпеда

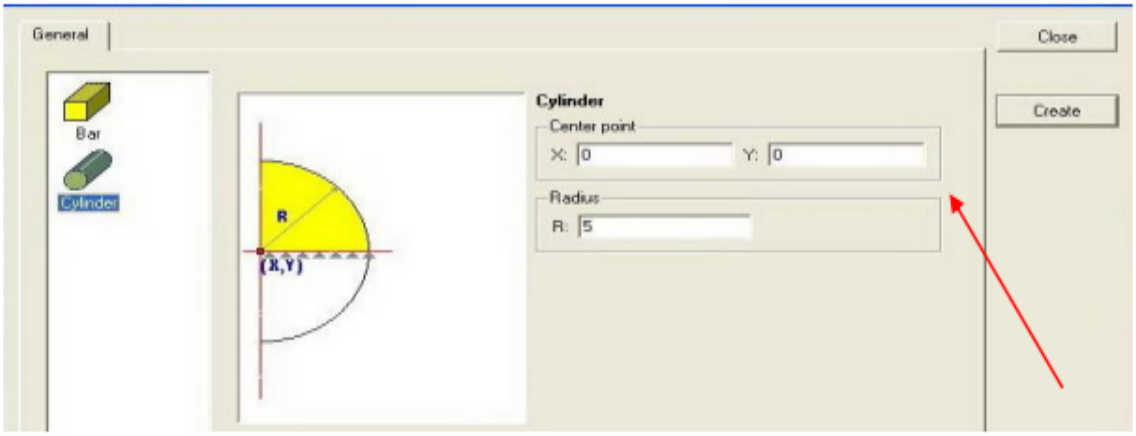


Рисунок 2.12 - Завдання розмірів для циліндра

За допомогою програми SolidWorks можна створювати будь-яку геометрію і імпортувати їх. Після визначення геометрії з'явиться контур заготівлі (рисунок 2.13).

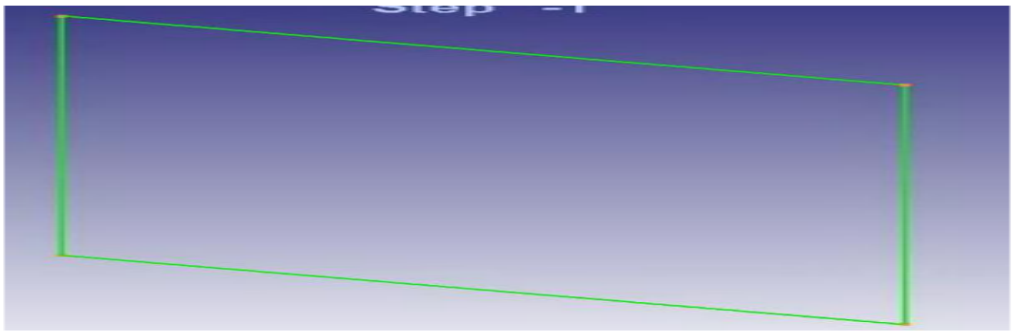


Рисунок 2.13 - Контур заготівлі

По заданому контуру буде побудована 3d модель і згенерована сітка (рисунок 2.14).

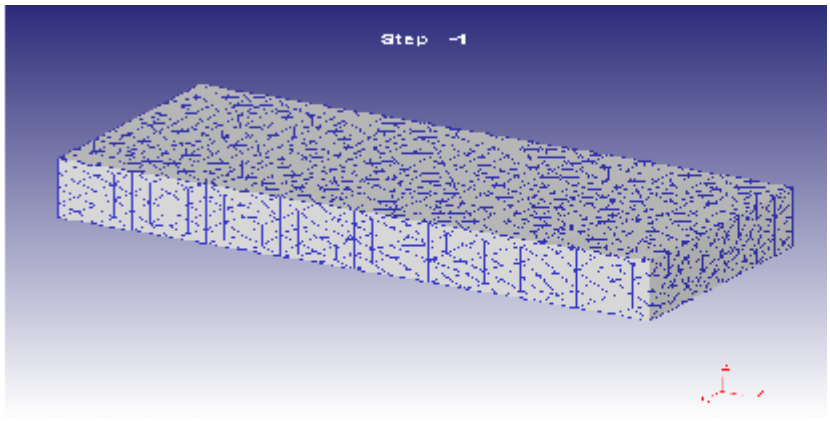


Рисунок 2.14 - 3d модель заготівля з побудованою сіткою

Далі визначуваний матеріал заготівлі (рисунок 2.15).

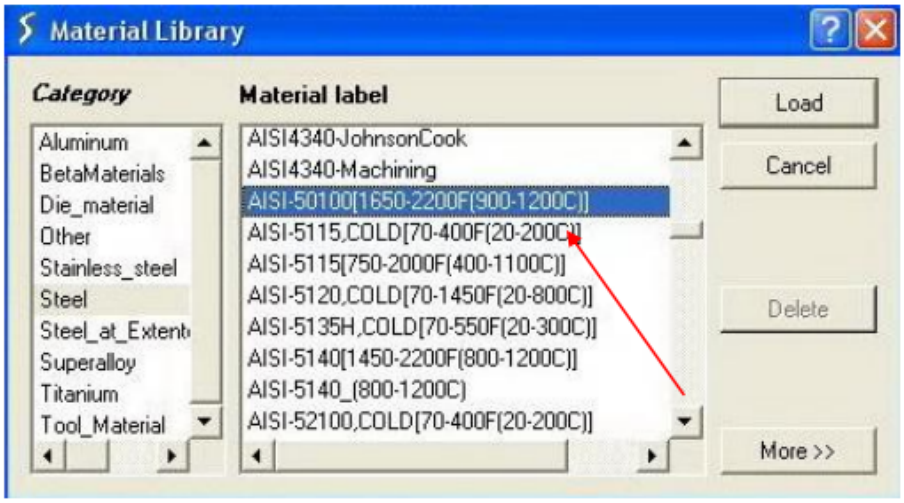


Рисунок 2.15 - Визначення матеріалу заготівлі

Останній етап - це вибір кількості кроків (рисунок 2.16).

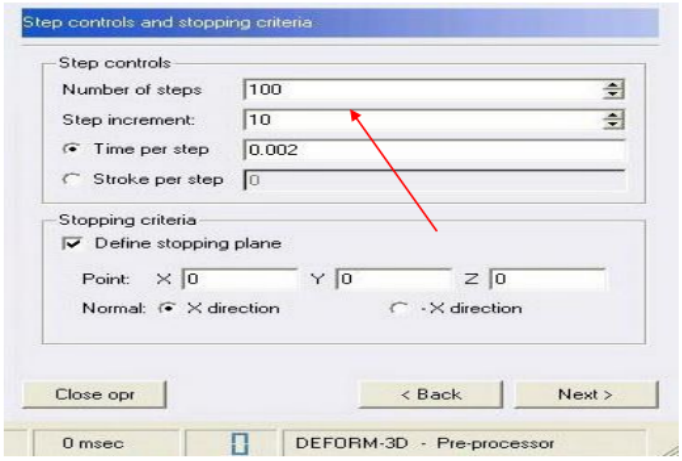


Рисунок 2.16 - Меню введення кількості кроків

Проект готовий, залишилося тільки натиснути кнопку Generate DataBase (рисунок 2.17).

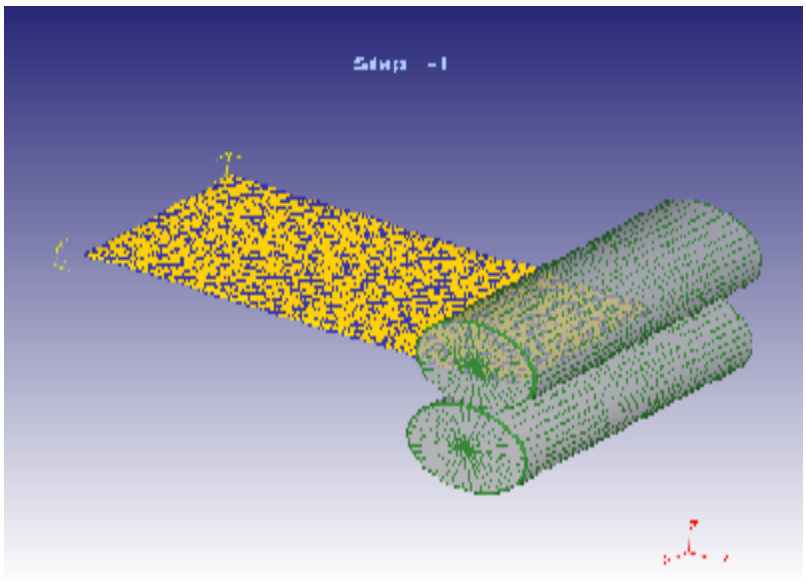


Рисунок 2.17 - Готовий проект і створення бази даних

Після цього база даних з'явиться в списку в головному вікні програми Deform. Але нам потрібне тонше налаштування властивостей, тому ми ще раз відкриємо препроцесор і введемо не вистачає дані.

По-перше, задамо властивості течії металу. Для завдання властивостей вибираємо потрібне нам рівняння течії металу і вводимо константи (рисунок 2.18).

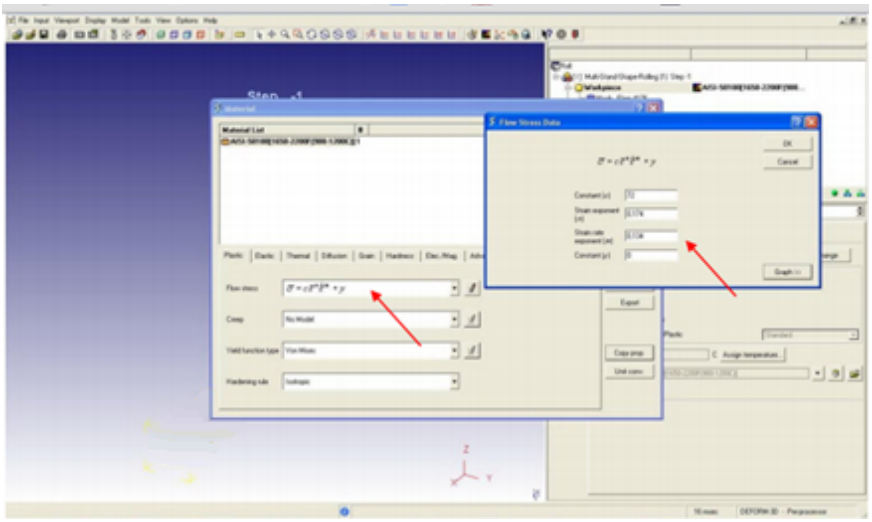


Рисунок 2.18 - Завдання властивостей течії металу

По-друге, задамо тертя між заготівлею і валком (рисунок 2.19).

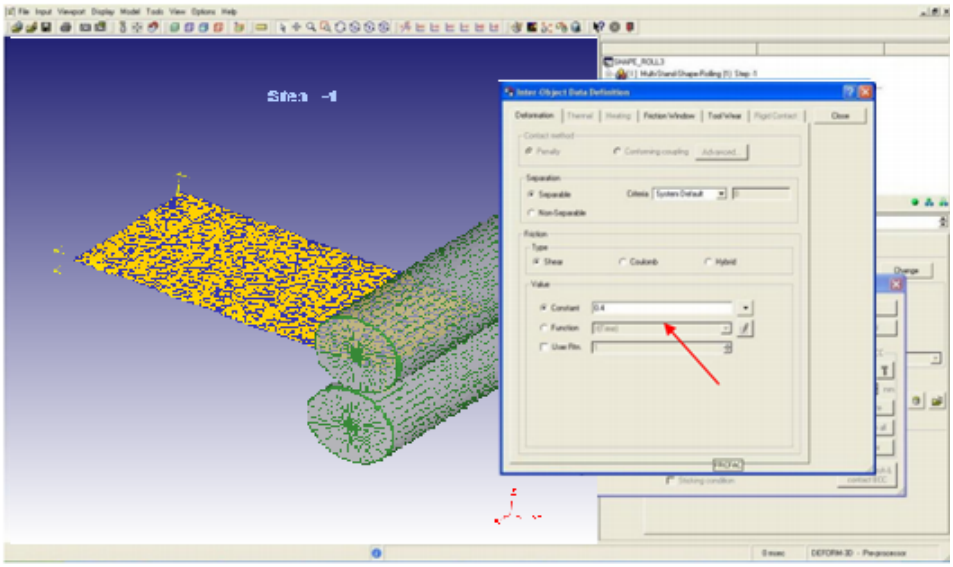


Рисунок 2.19 - Завдання тертя між валком і заготівлею

Ще раз зберігаємо базу даних. На цьому етап препроцесор закінчений, переходимо до процесора (вирішувача). На етапі рішення комп'ютер здійснює необхідні розрахунки, результат яких можна побачити в постпроцесорі. Для переходу в постпроцесор необхідно в головному меню виділити вже пораховану базу даних і натиснути Deform 3d Post. З'явиться вікно постпроцесора (рисунок 2.20).

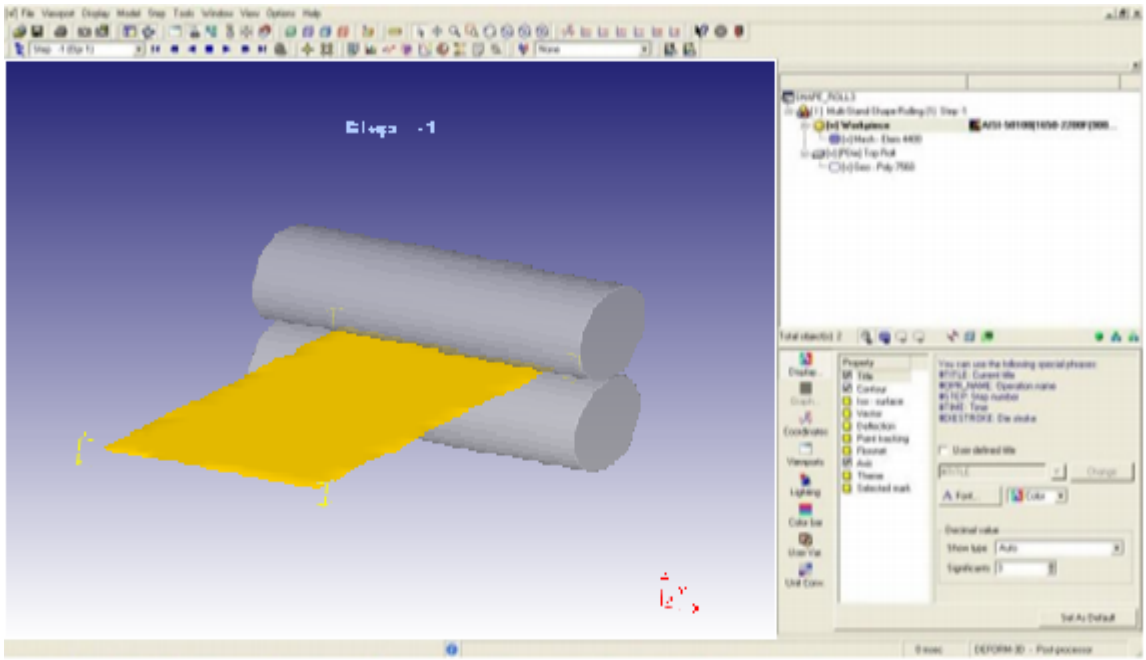


Рисунок 2.20 - Головне вікно постпроцесора

У постпроцесорі можна проглянути покроково як проходило прокатування, крутити модель, збільшувати (зменшувати) модель, переглядати різні поля, будувати перерізи, здійснювати стеження за точками і так далі

2.2 Регресійне математичне моделювання

Складання плану експерименту

При складанні плану повного факторного експерименту треба стежити, щоб не було повторів (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Матриця повного факторного експерименту 2^3

План	Номер досліду	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 значений «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 досліди слід дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. В цьому випадку розрахунок дисперсії досліду S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Y_{0i} - Y_0)^2}{f_1} \qquad (2.1)$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля

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

Y_0 – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число мір свободи (f_1 = n-1)

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9 -11 на основному рівні.

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 рівняння по формулі:

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

де b_j – значення j-го коефіцієнта регресії;

x_{jn} – значения j-го чинника в n-ом досліді в кодованому вигляді;

Yn – значення параметра оптимізації в n-ом досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті одержують модель, яка має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \qquad (2.3)$$

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 Стьюдента. Для цього розрахуємо довіричний інтервал коефіцієнтів:

$$\Delta b_i = t_{\alpha,f_1} \cdot S_{bi} \tag{2.4}$$

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \tag{2.5}$$

де $t_{\alpha,f1}$ – значення критерію Стьюдента, яке вибирається залежно від рівня значущості α і числа мір свободи при визначенні дисперсії досліду f_1.

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

3 ЗАКОНОМІРНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження процесу контрольованої прокатки низьколегованих сталей.

Параметри оптимізації:

$y_1 – \sigma_в$ – границя міцності, Н/мм^2;

$y_2 – \sigma_т$ – границя текучості, Н/мм^2;

$y_3 – \delta$ – відносне подовження, %;

y_4 – KCV – ударна в'язкість, МДж/м^2.

Досліджувані чинники, характер їх змін і схеми кодування приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	t_1 ,°C	t_2 ,°C	$\upsilon_{охол}$,°C/c
Код	x_1	x_2	x_3
Основний рівень	790	1125	8
Інтервал варіації	60	75	7
Нижній рівень (закодоване значення –1, –)	730	1050	1
Верхній рівень (закодоване значення +1, +)	850	1200	15

t_1 – температура кінця прокатки;

t_2 – температура нагріву під прокатку;

$\upsilon_{охол}$ – швидкість охолодження після прокатки.

Складання плану експерименту

Таблиця 3.2 – Матриця повного факторного експерименту від 2^2 до 2^3

Номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3
1	+	+	+	+
2	+	+	+	–
3	+	+	–	+
4	+	–	+	+
5	+	+	–	–
6	+	–	+	–
7	+	–	–	+
8	+	–	–	–

3.1 Параметр оптимізації – границя міцності ($\sigma_в$)

3.1.1 Реалізація плану експерименту

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

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi} - y_o)^2}{f_1} \quad (3.1)$$

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому набуте наступного значення параметра оптимізації:

дослід 9 – 580; дослід 10 – 570; дослід 11 – 560.

Визначаємо S_y^2. Складаємо розрахункову таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	уе	Δув	Δув2
9	580	-10	100
10	570	0	0
11	560	10	100
-	у0= 570	∑Δув =0	∑Δу= 200

Тоді:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi}-y_o)^2}{f_1} = \frac{200}{2} = 100 \quad (3.2)$$

3.1.2 Побудова математичної моделі

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	567	500	598	620	530	552	650	583

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = \frac{1}{8}(567 + 500 + 598 + 620 + 530 + 552 + 650 + 583) = 575, \quad (3.3)$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(567 + 500 + 598 - 620 + 530 - 552 - 650 - 583) = -26{,}25, \quad (3.4)$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(567 + 500 - 598 + 620 - 530 + 552 - 650 - 583) = -15{,}25, \quad (3.5)$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(567 - 500 + 598 + 620 - 530 - 552 \ + 650 - 583) = 33{,}75. \quad (3.6)$$

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$y = 575 - 26{,}25\left(\frac{x_1-790}{60}\right) - 15{,}25\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) + 33{,}75\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.7)$$

$$y = 1110{,}8036 - 0{,}4375x_1 - 0{,}2033x_2 + 4{,}8214x_3. \quad (3.8)$$

3.1.3 Статистичний аналіз моделі

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{100}{8}} = \pm 3{,}535534 \quad (3.9)$$

Вибираємо для $\alpha = 0{,}05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Ст´юдента, рівне 4,3. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 3{,}535534 = \pm 15{,}21217 \quad (3.10)$$

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

$$y = 575 - 26{,}25\left(\frac{x_1-790}{60}\right) - 15{,}25\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) + 33{,}75\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.11)$$

$$y = 1110{,}8036 - 0{,}4375x_1 - 0{,}2033x_2 + 4{,}8214x_3. \quad (3.12)$$

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера порівнюємо з табличним, яке вибирають з таблиці в роботі залежно від рівня значущості α і числа мір свободи f_1, f_2.

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}, \quad (3.13)$$

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{0,5}{4} = 0,125, \quad (3.14)$$

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{0,125}{100} = 0,00125. \quad (3.15)$$

Таблиця 3.5 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δу	Δy^2
	Експериментальне	Розрахункове		
1	567	567,25	-0,25	0,0625
2	500	499,75	0,25	0,0625
3	598	597,75	0,25	0,0625
4	620	619,75	0,25	0,0625
5	530	530,25	-0,25	0,0625
6	552	552,25	-0,25	0,0625
7	650	650,25	-0,25	0,0625
8	583	582,75	0,25	0,0625

З таблиці 3 для α = 0,05; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,2. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{расч} < F^{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна низьколегованих сталей контрольованої прокатки. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес контрольованої прокатки тільки у вивчених межах варіювання факторів.

3.1.4 Інтерпретація результатів

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

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно

будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника x_2 і x_3 в кодованому вигляді (із знаком «–»). Потім в перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення чинника x_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто –1; 0; +1 і одержуємо шуканий рисунок.

Представимо графічні залежностімежі міцності сталі від поправочних коефіцієнтів, що враховують температуру після чорнової групи клітей, температуру після чистової групи клітейта температуру змотування:

Чинник y_1: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 1110{,}8036 - 0{,}4375x_1 - 0{,}2033x_2 + 4{,}8214x_3 \qquad (3.16)$$

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

Таблиця 3.6 Значення y залежно від x (t_1, t_2):

x_2 \ x_1	730	790	850
1050	582,75	556,5	530,25
1125	567,5	541,25	515
1200	552,25	526	499,75

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.1).

Чинник y_2: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 1110{,}8036 - 0{,}4375x_1 - 0{,}2033x_2 + 4{,}8214x_3 \qquad (3.17)$$

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

Таблиця 3.7 – Значення y залежно від x (t_1, $\upsilon_{охол}$)

x_3 \ x_1	730	790	850
1	582,75	556,5	530,25
8	616,5	590,25	564
15	650,25	624	597,75

Будуємо одержані графічні залежності.(рисунок 3.2).

Чинник y_3: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 1110{,}8036 - 0{,}4375x_1 - 0{,}2033x_2 + 4{,}8214x_3 \qquad (3.18)$$

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

Таблиця 3.8 – Значення y залежно від x (t_2, $\upsilon_{охол}$)

x_3 \ x_2	1050	1125	1200
1	530,25	515	499,75
8	564	548,75	533,5
15	597,75	582,5	567,25

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.3).

3.1.5 Результати дослідження і їх аналіз

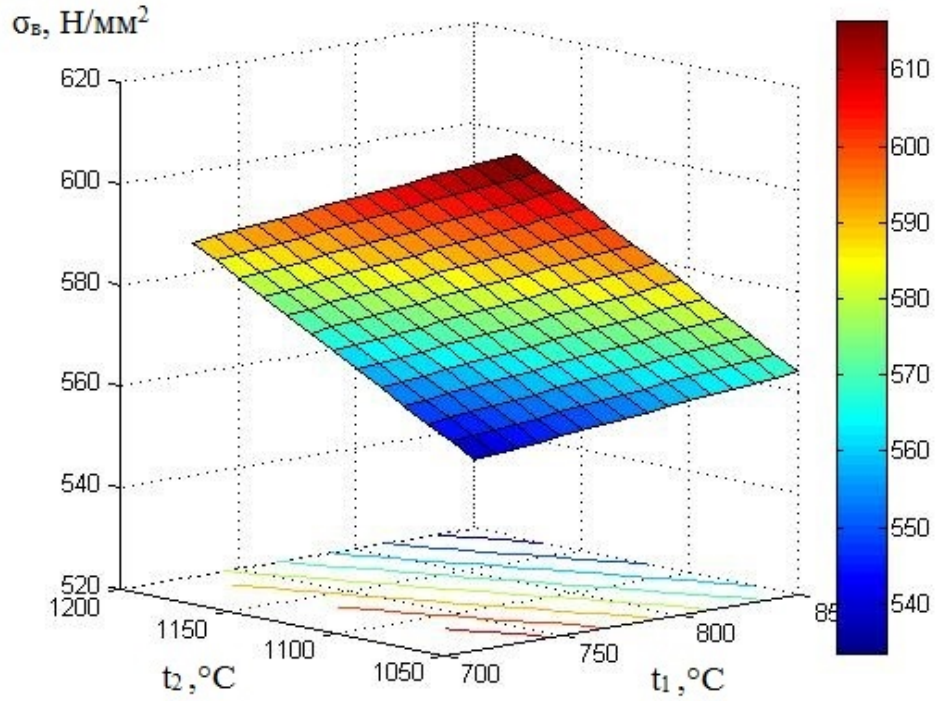


Рисунок 3.1 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та t_2 (температура нагріву під прокатку) на $\sigma_в$.

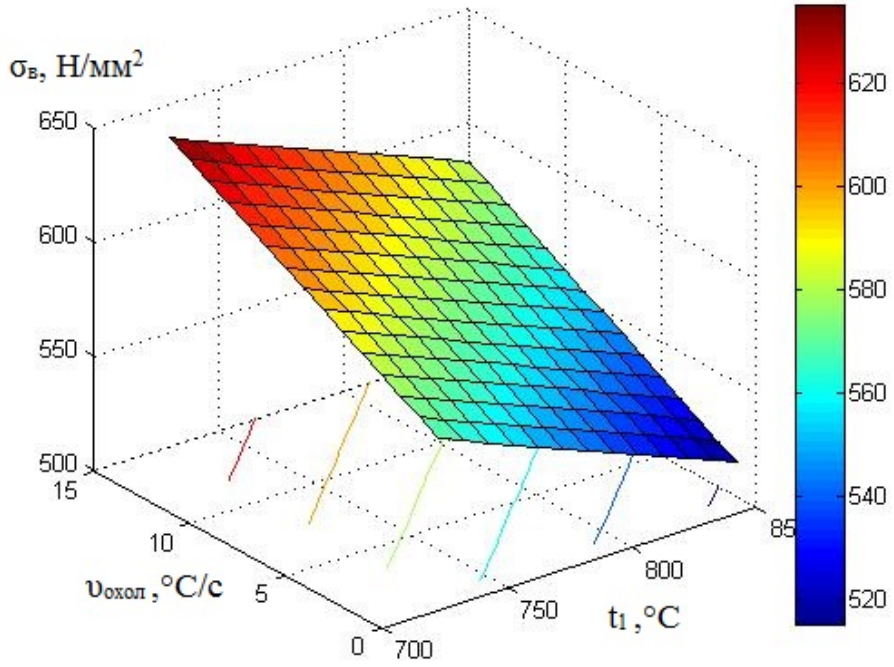


Рисунок 3.2 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на $\sigma_в$.

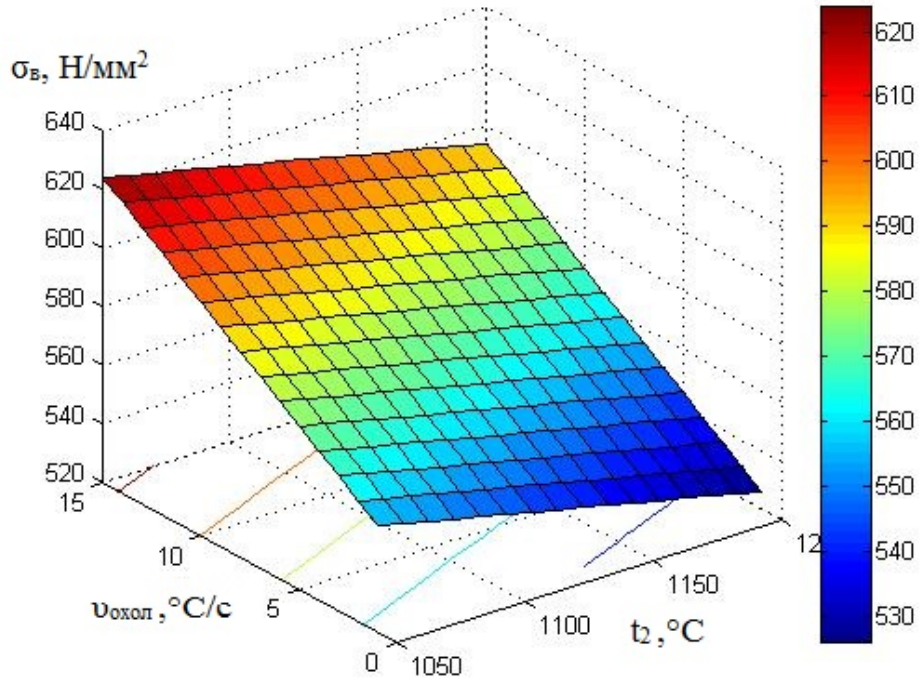


Рисунок 3.3 – Графік впливу t_2 (температура нагріву під прокатку) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на $\sigma_в$.

3.2 Параметр оптимізації – границя текучості ($\sigma_т$)

3.2.1 Реалізація плану експерименту

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

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi} - y_o)^2}{f_1} \qquad (3.19)$$

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому набуте наступного значення параметра оптимізації:

дослід 9 – 460; дослід 10 – 450; дослід 11 – 440.

Визначаємо S_y^2. Складаємо розрахункову таблицю 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	уе	Δув	$Δув^2$
9	460	-10	100
10	450	0	0
11	440	10	100
-	у0= 450	∑Δув =0	∑Δу= 200

Тоді:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi}-y_o)^2}{f_1} = \frac{200}{2} = 100 \quad (3.20)$$

3.2.2 Побудова математичної моделі

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (таблиця 3.10).

Таблиця 3.10 – Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	441	350	480	510	390	420	550	459

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = \frac{1}{8}(441 + 350 + 480 + 510 + 390 + 420 + 550 + 459) = 450, \quad (3.21)$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(441 + 350 + 480 - 510 + 390 - 420 - 550 - 459) = -34{,}75, \quad (3.22)$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(441 + 350 - 480 + 510 - 390 + 420 - 550 - 459) = -19{,}75, \quad (3.23)$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(441 - 350 + 480 + 510 - 390 - 420 + 550 - 459) = 45{,}25. \quad (3.24)$$

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$y = 450 - 34{,}75\left(\frac{x_1-790}{60}\right) - 19{,}75\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) + 45{,}25\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.25)$$

$$y = 1152{,}0774 - 0{,}5792x_1 - 0{,}2033x_2 + 6{,}4643x_3. \quad (3.26)$$

3.2.3 Статистичний аналіз моделі

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{100}{8}} = \pm 3{,}535534 \quad (3.27)$$

Вибираємо для $\alpha = 0{,}05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Ст´юдента, рівне 4,3. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 3{,}535534 = \pm 15{,}21217 \quad (3.28)$$

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

$$y = 450 - 34{,}75\left(\frac{x_1-790}{60}\right) - 19{,}75\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) + 45{,}25\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.29)$$

$$y = 1152{,}0774 - 0{,}5792x_1 - 0{,}2033x_2 + 6{,}4643x_3. \quad (3.30)$$

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера порівнюємо з табличним, яке вибирають з таблиці в роботі залежно від рівня значущості α і числа мір свободи f_1, f_2.

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}, \quad (3.31)$$

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{0{,}5}{4} = 0{,}125, \quad (3.32)$$

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{0{,}125}{100} = 0{,}00125. \quad (3.33)$$

Таблиця 3.11 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δy	Δy^2
	Експериментальне	Розрахункове		
1	441	440,75	0,25	0,0625
2	350	350,25	-0,25	0,0625
3	480	480,25	-0,25	0,0625
4	510	510,25	-0,25	0,0625
5	390	389,75	0,25	0,0625
6	420	419,75	0,25	0,0625
7	550	549,75	0,25	0,0625
8	459	459,25	-0,25	0,0625

З таблиці 3 для α = 0,05; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,2. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{расч} < F^{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна низьколегованих сталей контрольованої прокатки. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес контрольованої прокатки тільки у вивчених межах варіювання факторів.

3.2.4 Інтерпретація результатів

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

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника x_2 і x_3 в кодованому вигляді (із знаком «–»). Потім в перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення чинника x_1 на нижньому, основному і

верхньому рівнях, тобто –1; 0; +1 і одержуємо шуканий рисунок.

Представимо графічні залежностімежі міцності сталі від поправочних коефіцієнтів, що враховують температуру після чорнової групи клітей, температуру після чистової групи клітейта температуру змотування:

Чинник y_1: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 1152{,}0774 - 0{,}5792x_1 - 0{,}2033x_2 + 6{,}4643x_3 \qquad (3.34)$$

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

Таблиця 3.12 – Значення y залежно від x (t_1, t_2)

x_1 / x_2	730	790	850
1050	459,25	424,5	389,75
1125	439,5	404,75	370
1200	419,75	385	350,25

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.4).

Чинник y_2: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 1152{,}0774 - 0{,}5792x_1 - 0{,}2033x_2 + 6{,}4643x_3 \qquad (3.35)$$

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

Таблиця 3.13 – Значення у залежно від x (t_1, $\upsilon_{охол}$)

x_1 / x_3	730	790	850
1	459,25	424,5	389,75
8	504,5	469,75	435
15	549,75	515	480,25

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.5).

Чинник y_3: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = 1152{,}0774 - 0{,}5792x_1 - 0{,}2033x_2 + 6{,}4643x_3 \qquad (3.36)$$

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

Таблиця 14 – Значення у залежно від x (t_2, $\upsilon_{охол}$)

x_2 / x_3	1050	1125	1200
1	389,75	370	350,25
8	435	415,25	395,5
15	480,25	460,5	440,75

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.6).

3.2.5 Результати дослідження і їх аналіз

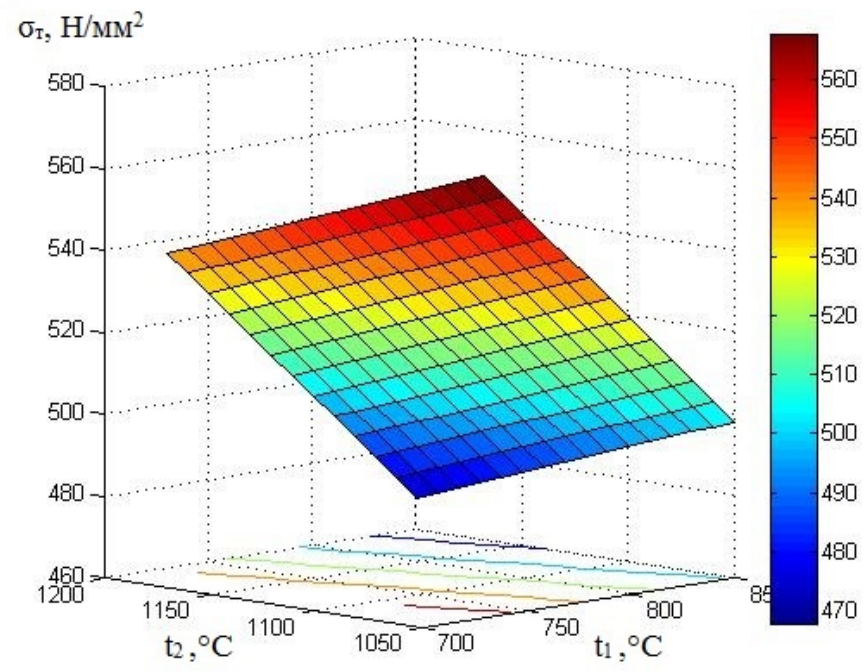


Рисунок 3.4 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та t_2 (температура нагріву під прокатку) на $\sigma_т$.

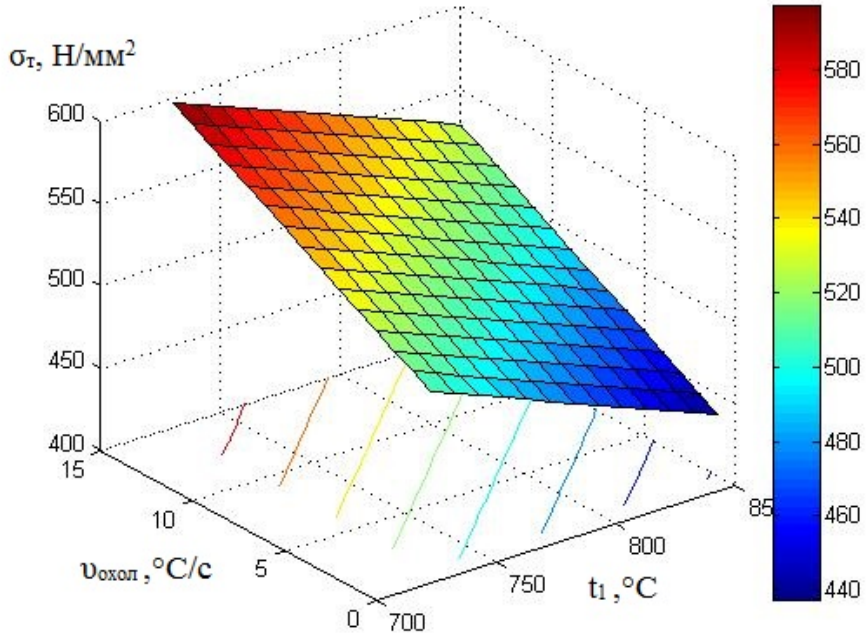


Рисунок 3.5 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на $\sigma_т$.

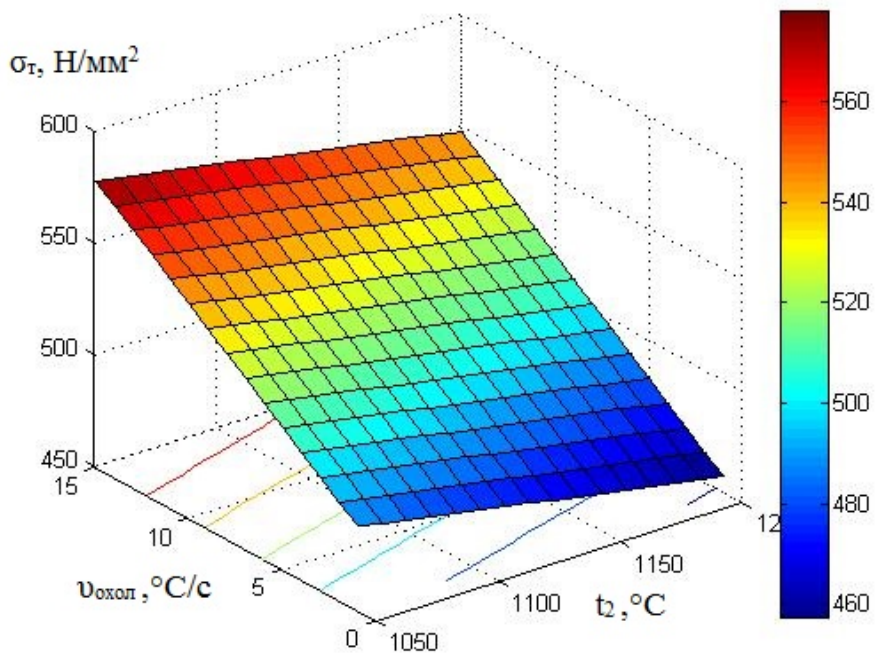


Рисунок 3.6 – Графік впливу t_2 (температура нагріву під прокатку) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на $\sigma_т$.

3.3 Параметр оптимізації – відносне подовження (δ)

3.3.1 Реалізація плану експерименту

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

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi} - y_o)^2}{f_1} \qquad (3.37)$$

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому набуте наступного значення параметра оптимізації:

дослід 9 – 29,2; дослід 10 – 28,5; дослід 11 – 27,2.

Визначаємо S_y^2. Складаємо розрахункову таблицю 3.15.

Таблиця 3.15 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	уе	Δув	$Δув^2$
9	29,2	-0,9	0,81
10	28,5	-0,2	0,04
11	27,2	1,1	1,21
-	у0= 28,3	∑Δув =0	∑Δу= 2,06

Тоді:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi}-y_o)^2}{f_1} = \frac{2,06}{2} = 1,03 \quad (3.38)$$

3.3.2 Побудова математичної моделі

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (таблиця 3.16).

Таблиця 3.16 – Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	28,9	33,5	26,7	25,1	31,4	29,8	23	27,6

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = \frac{1}{8}(28,9 + 33,5 + 26,7 + 25,1 + 31,4 + 29,8 + 23 + 27,6) = 28,25, \quad (3.39)$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(28,9 + 33,5 + 26,7 - 25,1 + 31,4 - 29,8 - 23 - 27,6) = 1,875, \quad (3.40)$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(28,9 + 33,5 - 26,7 + 25,1 - 31,4 + 29,8 - 23 - 27,6) = 1,075, \quad (3.41)$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(28,9 - 33,5 + 26,7 + 25,1 - 31,4 - 29,8 + 23 - 27,6) = -2,325. \quad (3.42)$$

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$y = 28{,}25 + 1{,}875\left(\frac{x_1-790}{60}\right) + 1{,}075\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) - 2{,}325\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.43)$$

$$y = -9{,}9054 + 0{,}0313x_1 + 0{,}0143x_2 - 0{,}3321x_3. \quad (3.44)$$

3.3.3 Статистичний аналіз моделі

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{1{,}03}{8}} = \pm 0{,}358818 \quad (3.45)$$

Вибираємо для $\alpha = 0{,}05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Ст´юдента, рівне 4,3. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 0{,}358818 = \pm 1{,}543867 \quad (3.46)$$

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

$$y = 28{,}25 + 1{,}875\left(\frac{x_1-790}{60}\right) + 1{,}075\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) - 2{,}325\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.47)$$

$$y = -9{,}9054 + 0{,}0313x_1 + 0{,}0143x_2 - 0{,}3321x_3. \quad (3.48)$$

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера порівнюємо з табличним, яке вибирають з таблиці в роботі залежно від рівня значущості α і числа мір свободи f_1, f_2.

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}, \quad (3.49)$$

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{0{,}005}{4} = 0{,}00125, \quad (3.50)$$

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{0{,}00125}{1{,}03} = 0{,}00121. \quad (3.51)$$

Таблиця 3.17 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δy	Δy^2
	Експериментальне	Розрахункове		
1	28,9	28,875	0,025	0,000625
2	33,5	33,525	-0,025	0,000625
3	26,7	26,725	-0,025	0,000625
4	25,1	25,125	-0,025	0,000625
5	31,4	31,375	0,025	0,000625
6	29,8	29,775	0,025	0,000625
7	23	22,975	0,025	0,000625
8	27,6	27,625	-0,025	0,000625

З таблиці 3 для α = 0,05; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,2. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{расч} < F^{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна низьколегованих сталей контрольованої прокатки. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес контрольованої прокатки тільки у вивчених межах варіювання факторів.

3.3.4 Інтерпретація результатів

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

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника x_2 і x_3 в кодованому вигляді (із знаком «–»). Потім в перетворене (спрощене) рівняння

підставляємо послідовно значення чинника x_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто –1; 0; +1 і одержуємо шуканий рисунок.

Представимо графічні залежностімежі міцності сталі від поправочних коефіцієнтів, що враховують температуру після чорнової групи клітей, температуру після чистової групи клітейта температуру змотування:

Чинник y_1: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = -9{,}9054 + 0{,}0313x_1 + 0{,}0143x_2 - 0{,}3321x_3 \qquad (3.52)$$

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

Таблиця 3.18 – Значення y залежно від x (t_1, t_2)

x_1 / x_2	730	790	850
1050	27,625	29,5	31,375
1125	28,7	30,575	32,45
1200	29,775	31,65	33,525

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.7).

Чинник y_2: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = -9{,}9054 + 0{,}0313x_1 + 0{,}0143x_2 - 0{,}3321x_3 \qquad (3.53)$$

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

Таблиця 3.19 – Значення у залежно від x (t_1, $\upsilon_{охол}$)

x_3 \ x_1	730	790	850
1	27,625	29,5	31,375
8	25,3	27,175	29,05
15	22,975	24,85	26,725

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.8).

Чинник y_3: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = -9{,}9054 + 0{,}0313x_1 + 0{,}0143x_2 - 0{,}3321x_3 \qquad (3.54)$$

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

Таблиця 3.20 – Значення у залежно від x (t_2, $\upsilon_{охол}$)

x_3 \ x_2	1050	1125	1200
1	31,375	32,45	33,525
8	29,05	30,125	31,2
15	26,725	27,8	28,875

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.9).

3.3.5 Результати дослідження і їх аналіз

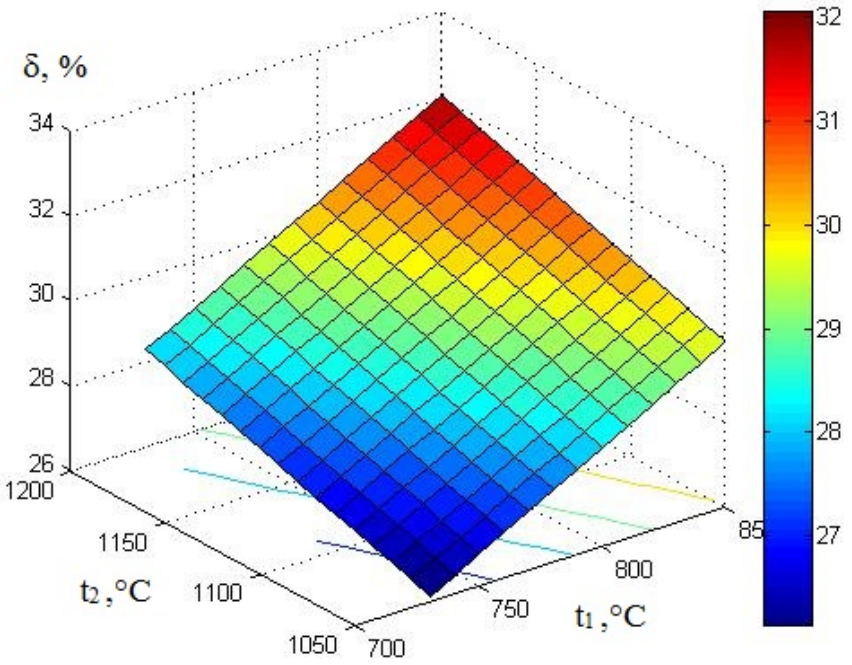


Рисунок 3.7 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та t_2 (температура нагріву під прокатку) на δ

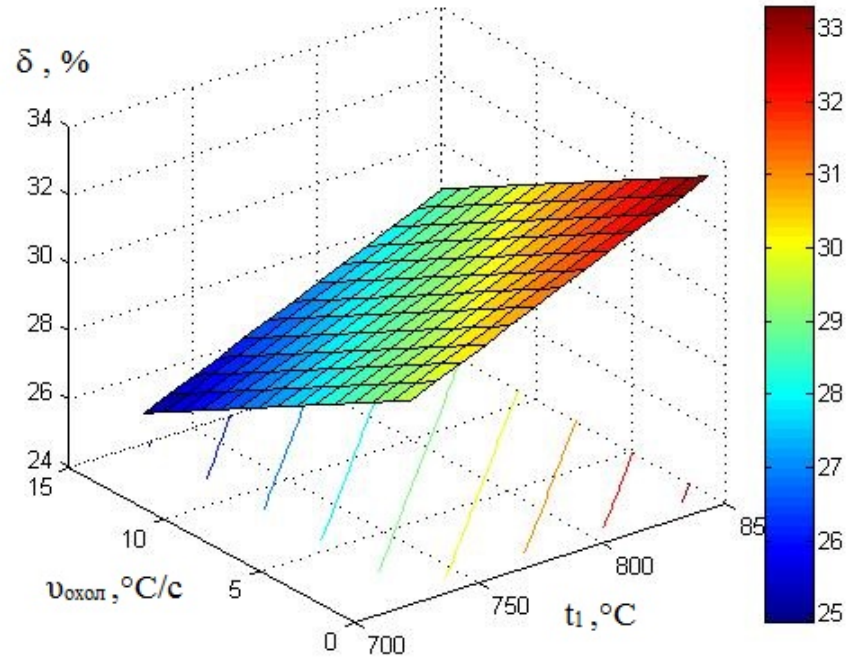


Рисунок 3.8 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на δ

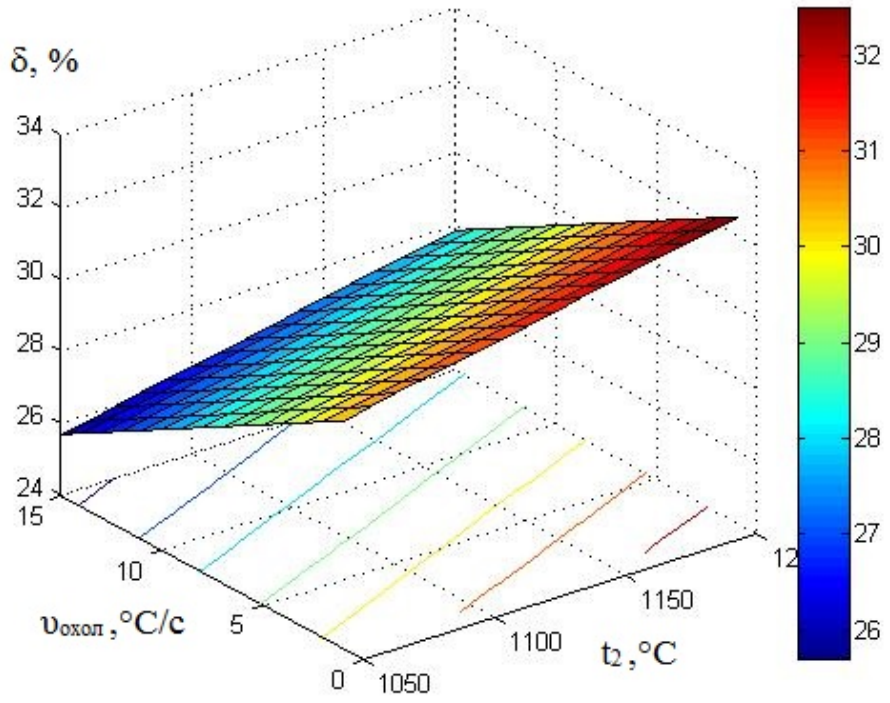


Рисунок 3.9 – Графік впливу t_2 (температура нагріву під прокатку) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на δ

3.4 Параметр оптимізації – ударна в'язкість (KCV)

3.4.1 Реалізація плану експерименту

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

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi} - y_o)^2}{f_1} \qquad (3.55)$$

Для визначення дисперсії досліду було організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому набуте наступного значення параметра оптимізації: дослід 9 – 1,84; дослід 10 – 1,75; дослід 11 – 1,68.

Визначаємо S_y^2. Складаємо розрахункову таблицю 3.21.

Таблиця 3.21 – Розрахункова таблиця дисперсії досліду

Дослід	уе	Δув	Δув2
9	1,84	-0,08333	0,006944
10	1,75	0,006667	0,000044
11	1,68	0,076667	0,005878
-	у0= 1,756667	∑Δув =0	∑Δу=0,012867

Тоді:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_{oi}-y_o)^2}{f_1} = \frac{0,012867}{2} = 0,006433 \quad (3.56)$$

3.4.2 Побудова математичної моделі

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (таблиця 3.22).

Таблиця 3.22 – Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	1,83	2,5	1,52	1,3	2,2	1,98	1	1,67

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = \frac{1}{8}(1,83 + 2,5 + 1,52 + 1,3 + 2,2 + 1,98 + 1 + 1,67) = 1,75, \quad (3.57)$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(1,83 + 2,5 + 1,52 - 1,3 + 2,2 - 1,98 - 1 - 1,67) = 0,2625, \quad (3.58)$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(1,83 + 2,5 - 1,52 + 1,3 - 2,2 + 1,98 - 1 - 1,67) = 0,1525, \quad (3.59)$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(1,83 - 2,5 + 1,52 + 1,3 - 2,2 - 1,98 + 1 - 1,67) = -0,33,75. \quad (3.60)$$

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$y = 1{,}75 + 0{,}2625\left(\frac{x_1-790}{60}\right) + 0{,}1525\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) - 0{,}3375\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.61)$$

$$y = -3{,}60803571 + 0{,}004375x_1 + 0{,}002033x_2 - 0{,}048214x_3. \quad (3.62)$$

3.4.3 Статистичний аналіз моделі

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

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0{,}006433}{8}} = \pm 0{,}028358 \quad (3.63)$$

Вибираємо для $\alpha = 0{,}05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Ст′юдента, рівне 4,3. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4{,}3 \cdot 0{,}028358 = \pm 0{,}122014 \quad (3.64)$$

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

$$y = 1{,}75 + 0{,}2625\left(\frac{x_1-790}{60}\right) + 0{,}1525\left(\frac{x_2-1125}{75}\right) - 0{,}3375\left(\frac{x_3-8}{7}\right), \quad (3.65)$$

$$y = -3{,}60803571 + 0{,}004375x_1 + 0{,}002033x_2 - 0{,}048214x_3. \quad (3.66)$$

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера порівнюємо з табличним, яке вибирають з таблиці в роботі залежно від рівня значущості α і числа мір свободи f_1, f_2.

$$F_{f1,f2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}, \quad (3.67)$$

$$S^2_{\text{неад}} = \frac{0{,}00005}{4} = 0{,}0000125, \quad (3.68)$$

$$F^{\text{расч}}_{f1,f2} = \frac{0{,}0000125}{0{,}006433} = 0{,}00194301. \quad (3.69)$$

Таблиця 3.23 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення y		Δy	Δy^2
	Експериментальне	Розрахункове		
1	1,83	1,8275	0,0025	0,00000625
2	2,5	2,5025	-0,0025	0,00000625
3	1,52	1,5225	-0,0025	0,00000625
4	1,3	1,3025	-0,0025	0,00000625
5	2,2	2,1975	0,0025	0,00000625
6	1,98	1,9775	0,0025	0,00000625
7	1	0,9975	0,0025	0,00000625
8	1,67	1,6725	-0,0025	0,00000625

З таблиці 3 для α = 0,05; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,2. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{расч} < F^{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середнього розміру зерна низьколегованих сталей контрольованої прокатки. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес контрольованої прокатки тільки у вивчених межах варіювання факторів.

3.4.4 Інтерпретація результатів

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

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді

впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника x_2 і x_3 в кодованому вигляді (із знаком «–»). Потім в перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення чинника x_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто –1; 0; +1 і одержуємо шуканий рисунок.

Представимо графічні залежностімежі міцності сталі від поправочних коефіцієнтів, що враховують температуру після чорнової групи клітей, температуру після чистової групи клітейта температуру змотування:

Чинник y_1: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = -3{,}60803571 + 0{,}004375x_1 + 0{,}002033x_2 - 0{,}048214x_3 \quad (3.70)$$

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

Таблиця 3.24 – Значення y залежно від x (t_1, t_2)

x_2 \ x_1	730	790	850
1050	1,6725	1,935	2,1975
1125	1,825	2,0875	2,35
1200	1,9775	2,24	2,5025

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.10).

Чинник y_2: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = -3{,}60803571 + 0{,}004375x_1 + 0{,}002033x_2 - 0{,}048214x_3 \quad (3.71)$$

Визначимо *y* для випадків, коли x = -1; 0; +1. Підставимо ці значення в

рівняння. Набудемо відповідно значення *y*, рівні.

Таблиця 3.25 – Значення y залежно від x (t_1, $\upsilon_{охол}$)

x_3 \ x_1	730	790	850
1	1,6725	1,935	2,1975
8	1,335	1,5975	1,86
15	0,9975	1,26	1,5225

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.11).

Чинник y_3: для випадку, коли решта $x_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$y = -3{,}60803571 + 0{,}004375x_1 + 0{,}002033x_2 - 0{,}048214x_3 \quad (3.72)$$

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

Таблиця 3.26 – Значення y залежно від x (t_2, $\upsilon_{охол}$)

x_3 \ x_2	1050	1125	1200
1	2,1975	2,35	2,5025
8	1,86	2,0125	2,165
15	1,5225	1,675	1,8275

Будуємо одержані графічні залежності (рисунок 3.12).

3.4.5 Результати дослідження і їх аналіз

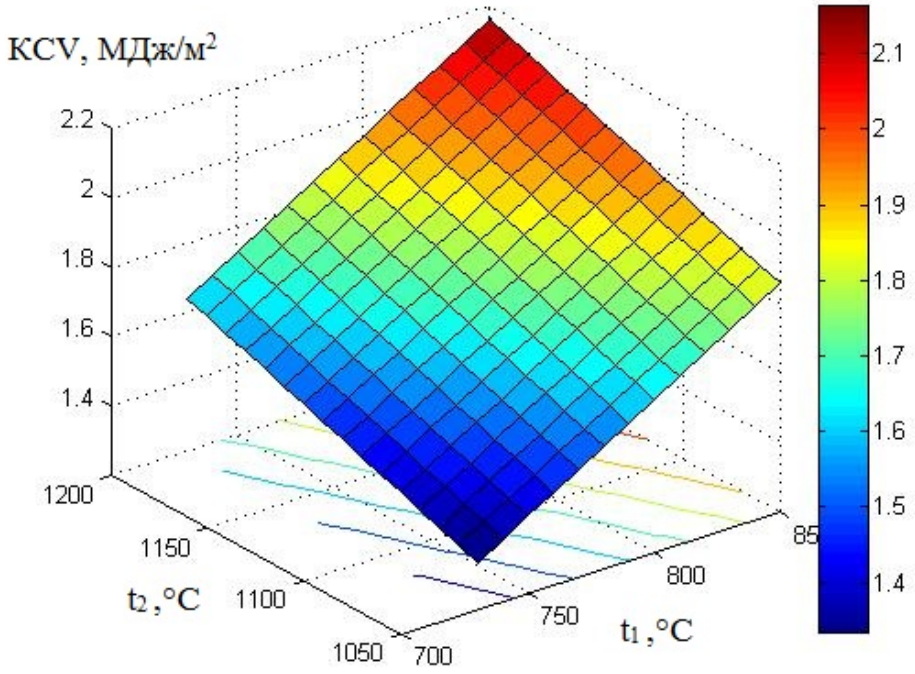


Рисунок 3.10 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та t_2 (температура нагріву під прокатку) на KCV

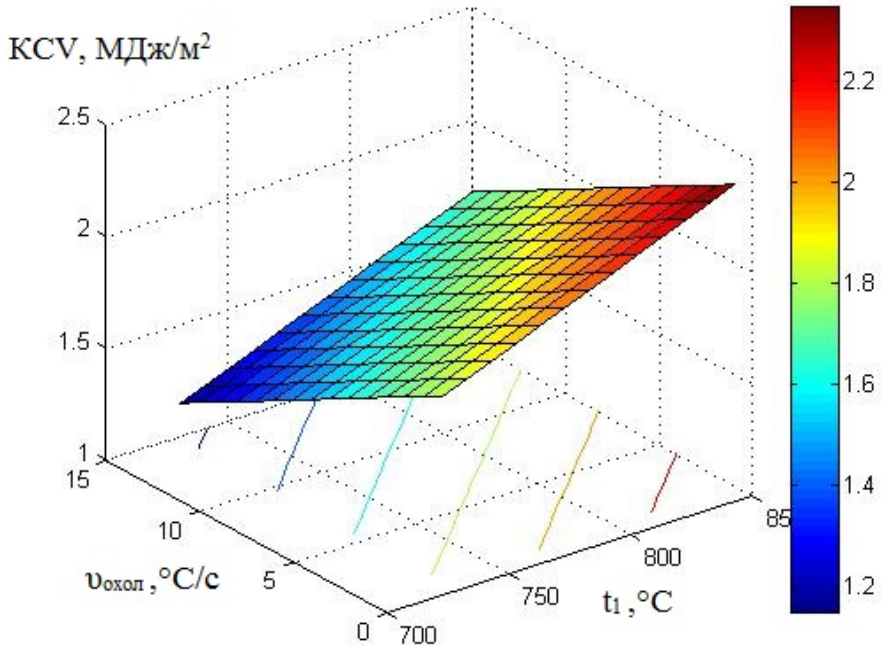


Рисунок 3.11 – Графік впливу t_1 (температура кінця прокатки) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на KCV

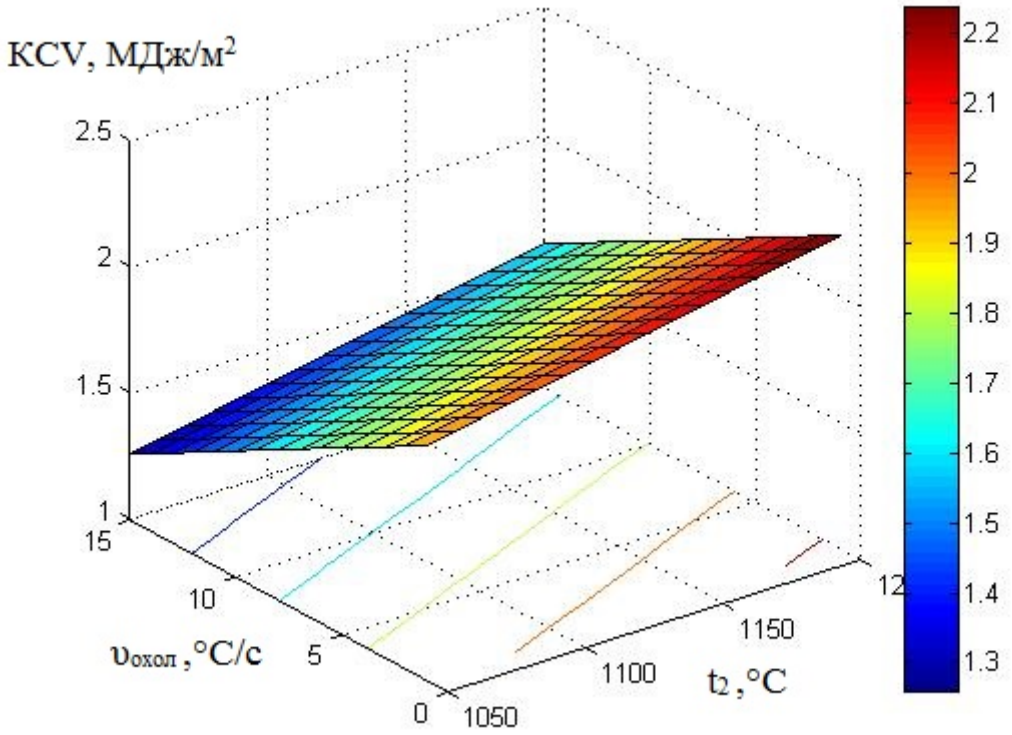


Рисунок 3.12 – Графік впливу t_2 (температура нагріву під прокатку) та $\upsilon_{охол}$ (швидкість охолодження після прокатки) на KCV

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних и шкідливих чинників виробничого середовища

На товстолистовому стані постійно або тимчасово діючими небезпечними і шкідливими виробничими чинниками, що чинить різний вплив на організм, є: рухомі машини і механізми, запиленість і загазованість повітря, вібрація, шум, підвищена температура, промислові гази та ін.

Ділянка стану складається з методичних печей, нижнього і верхнього пічного рольганга, за допомогою яких сляб подається в лінію стану й транспортується до чорнової кліті, а потім до чистової кліті стану.

Виділення пилу і окалини на ділянці прокаткного стана виникає при розвантаженні слябів з методичних печей, при проходженні слябів під окаліноломачами, при прокатці слябів у клітях чорнової і чистової груп стана.

Якісний склад пилу наведено в таблиці 4.1.

Ступінь впливу пилу на організм людини залежить від її фізико-хімічних властивостей, токсичності, концентрації, дисперсності.

При вдиханні запиленого повітря частина пилових частинок виводиться з організму.

Це обумовлено захисними рефлексами (чханням, кашлем). Інша частина пилових частинок проникає вглиб легенів, викликаючи роздратування з'єднувальних тканей, сполучних тканин, тобто розвивається пневмоконіоз.

Таблиця 4.1 - Якісний склад пилу при прокатці

Найменування	Вміст (%)
Оксиди заліза	55,6 – 96,4
Оксиди кальцію	3 – 16,4
Оксиди магнію	1,3 – 1,6
Оксиди марганцю	0,4 – 3
Кремнезем	5,4 – 19
Вільний вуглець	1,5 – 4

На стані гарячої прокатки багато основних і допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних елементів у пилу пропорційно хімічним складом прокатуваної сталі. Пил містить: 73,96% Fe; 0,1%C; 0,51%Mn; 0,39%S; 25,04%O_2.

Частинки пилу прокатного виробництва мають форму нерівномірних гранул, як правило, з одним або кількома гострими краями. Пил, що утворюється при прокатці і обробці металу, негативно впливає на організм людини. Медичні спостереження показують, що особи, які постійно працюють в атмосфері, яка містить зважений металевий пил, більш схильні до захворювання грипом, бронхітом, гострим захворюванням верхніх дихальних шляхів і запаленням легенів.

Пил, переважно фіброгенної дії, становить за фактом 22 мг/м³, в той час як, при нормативних значеннях 4,0 мг/м³. Перевищення ГДК пилу від норми становить більше 5,5 разів і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Іншим фактором прокатного стану, що характеризує санітарно-гігієнічні умови праці оператора в цеху, є загазованість. Наявність різних газів в атмосфері прокатного цеху обумовлено порушеннями технологічного режиму, несправністю і недосконалістю устаткування. До основних джерел виділення шкідливих газів відносяться нагрівальні пристрої, прокатні стани, ріжучі механізми та інше технологічне обладнання.

У прольотах прокатних станів, на ділянках різання і складування металу, крім технологічних газів, в атмосферу надходить значна кількість газів, що утворюються при згорянні мастильних матеріалів (вуглекислий газ (CO_2), вуглець оксид (CO), сірчистий ангідрит (SO_2)).

Склад газу по карті умов праці: ангідрит хромовий - 0,011 мг/м^3, марганцю оксиди (аерозоль) - 0,190 мг/м^3, вуглецю оксид - 22,2 мг/м^3.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, випромінюваного нагрітими заготовками та обладнанням стана. Велика кількість теплового випромінювання має місце на робочих місцях біля нагрівальних печей, у прокатних станів, на ділянках ножиць, а також у штабелів гарячого металу на складах готової продукції. Наявність численних источників теплового випромінювання вимагає дотримання спеціальних заходів щодо створення на цих ділянках нормальних санітарно-гігієнічних умов.

Інфрачервоне випромінювання від нагрівальних печей, нагрітого металу становить 2950 Вт/м² при нормативних значеннях 140 Вт/м². Перевищення допустимої норми інфракрасного випромінювання становить 2810 Вт/м² і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми, супроводжується транспортування металу по рольгангах, прокатка на стані, різка на ножицях.

Шум, вироблений від прокатки металу прокатним станом, рольгангами, ножицями та іншими приладами становить, 98дБА при нормативних значеннях 80 дБА. Перевищення шуму на 18 дБА відносить цей вид шкідливого впливу також до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Окремі ручні операції в прокатних цехах сполучені з шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечні в цьому відношенні ручна дефектів вад на поверхні металу пневматичними зубилами,

наждачна зачистка поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту.

Істотне значення для санітарно-гігієнічної характеристики прокатного виробництва мають метеорологічні умови в цеху. Метеорологічні умови на НТЛС 1680 визначаються температурою, вологістю і рухливістю повітря. Температура повітря на гарячих ділянках прокатного цеху значно перевищує температуру зовнішнього повітря.

Рухливість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодний період року у виробничих приміщеннях прокатного цеху оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною 0,3-0,5 м/с. У літній час допускається швидкість руху повітря 0,3-1 м/с. Проблема створення нормальних метеорологічних умов праці в прокатному цеху вирішується в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень за допомогою аерації, застосування припливно-витяжної вентиляції і кондиціонування повітря.

Дана оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу. Розроблено карту умов праці (таблиця 4.2), для основної професії - оператора стана «3000».

Аналіз карти умов праці показав, що оператор відноситься до важкої категорії робіт.

Згідно з даними карти умов праці робітник має право на пільгову пенсію, на додаткову відпустку, профілактичне харчування.

Так як в цеху проводиться гаряча прокатка, то і в холодний, і в теплий період року температура повітря вище норми. Окалина, що відлітає і осколки від гарячих злитків, вібрація, виділення парів води, шум, пил, а також фізичні фактори, зливки, що рухаються з великою швидкістю і ударами - все це є шкідливими чинниками.

На підставі проведеного аналізу пропонуються заходи щодо зменшення та виключенню цих шкідливих факторів.

Таблиця 4.2 - Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу оператора стана

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормо-тивне значен-ня (ПДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактор, за зміну %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки - ангідрит хромовий	0,010	0,011	1,1р			86,3
	II клас небезпеки, - оксиди марганцю (аерозоль)	0,050	0,190		3,8р		86,3
	III - IV клас небезпеки - вуглецю оксид	20,0	22,2	1,11р			86,3
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м^3	4,0	22			5,5р	90
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	99			7	90
4	Шум, дБА	80	98			18	90
8	Мікроклімат у приміщенні: теплий період						
	- температура повітря, ^{0}C	13-19	32			13	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,5	0,24				90
	- відносна вологість, %	75	50				90
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	2950			2810	90
10	Важкість і напруженість праці	Категорія важкості - важка III Напруженість праці - напружена					
11	Загальна оцінка умов праці			2	1	5	

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

4.2.1 Вентиляція і кондиціювання повітря

Для створення сприятливих умов робочим, зайнятих на гарячих роботах, а також для зниження температури, в закритих приміщеннях необхідно охолоджувати повітря у відповідних установках. Найбільш простим методом охолодження повітря є, його охолодження в камерах в результаті випаровування рециркулюючої води. Випаровування водяного пилу викликає охолодження повітря, засмоктуваного в камеру вентилятором. Витрата води, що йде на випаровування, в стічному резервуарі поповнюється за допомогою поплавкового клапана від водопровідної мережі.

При температурі охолоджуваного повітря близько 20-30 °С в повітряноохолоджуючих камерах випаровуванням рециркулюючої води охолоджують повітря на 6-8 °С, а при температурі повітря близько 35-40 °С на 10-15 °С.

Для найбільшого охолодження повітря, що подається на пости керування прокатними станами, що подають рольгангами, ножицями і пилами гарячого різання або для обдування робочих місць, застосовуються спеціальні кондиціонери, що дозволяють подавати повітря з початковою температурою близько 13-15°С, що забезпечує температуру повітря в приміщеннях пультів керування або на робочих місцях біля 20-22 °С. При цьому температура холодоносія становить 6-8°С.

На постах управління прокатного стану застосовують охолоджене повітря спеціальних кондиціонерів з холодильними установками компресорного типу. В якості хладоагента найчастіше застосовується фреон.

Крім вентиляції з охолоджуванням повітря в літній час широко застосовується охолодження повітря зрошенням його водяним пилом, безпосередньо у робочих місць водорозпорошувальними форсунками, при

цьому розпилювана вода випаровуватися в повітрі, охолоджуючи його. При зрошенні повітря невелика кількість найтоншої водяного пилу потрапляє на одяг і на відкриті частини тіла робітників, знижуючи при цьому температуру одягу на 4-5 град і температуру відкритих частин тіла на 1-2 град.

Охолодження повітря зрошенням його водяним пилом можна застосовувати у нагрівальних печей, прокатних станів, ножиць і пил, в місцях таврування заготовок, у штабелів гарячих заготівок на складі, близько холодильників, змотувачів та інших пристроїв.

У зв'язку з тим, що в процесі виробництва агрегати прокатних цехів виділяють в приміщення значну кількість тепла, пилу і газів, цех має розвинену вентиляційну систему. Витяжна вентиляція служить для видалення з будівлі цеху нагрітого і забрудненого повітря і викиду його в атмосферу. Припливна вентиляція служить для подачі в цех чистого повітря замість вилученого.

Цех, як правило, обладнаний системою як природної, так і механічної припливно-витяжної вентиляції.

У прокатному цеху застосовують різні способи повітрообміну, залежно від яких вентиляція підрозділяється на місцеву і загальну, або, як часто її називають загальнообмінну.

У зонах виділення шкідливих речовин застосовуються місцеві вентиляційні пристрої, такі як повітряне душування, і повітряні завіси.

Повітряне душування застосовується в цеху на місцях постійного перебування робітників, що піддаються впливу інфрачервоного випромінювання інтенсивністю 350 Вт/м^2. Для усунення перегріву організму робочих припливне повітря спрямовується безпосередньо на поверхню тіла робочого у вигляді так званого повітряного обдування.

Повітряні завіси застосовують з метою запобігання надходження зовнішнього холодного повітря у виробниче приміщення через відкриті двері або ворота і захисту людей від його впливу. Повітряна завіса використовується також у прорізів в огорожі технологічного обладнання як

перешкоду вибивання гарячого забрудненого повітря в приміщенні та в інших випадках, коли необхідно перекрити повітряний потік через отвір.

Витяжні зонти служать для уловлювання потоків шкідливих речовин, спрямованих вгору. Вони застосовуються, коли джерело утворення пилу, парів і газів переміщається на значній площі робочого місця, як в горизонтальній, так і вертикальній площині.

При загальнообмінній вентиляції шкідливості поширюються повітряними потоками по всьому цеху, тому роль припливної вентиляції полягає в розведенні шкідливостей до допустимих норм концентрацій.

На стані гарячої прокатки застосовують змішану вентиляцію, тобто одночасно загальну і місцеву.

При механічній вентиляції переміщення повітря досягається за рахунок використання механічної роботи вентиляторів. При природній вентиляції переміщення повітря здійснюється під впливом різниці питомої ваги зовнішнього повітря і повітря всередині цеху, а також в результаті дії вітру.

У прокатному цеху, повітря, нагріте від обладнання, розпеченого металу і нагрівальних пристроїв, піднімається вгору і видаляється через стулки аераційних ліхтарів в даху будівлі (рис. 4.1).

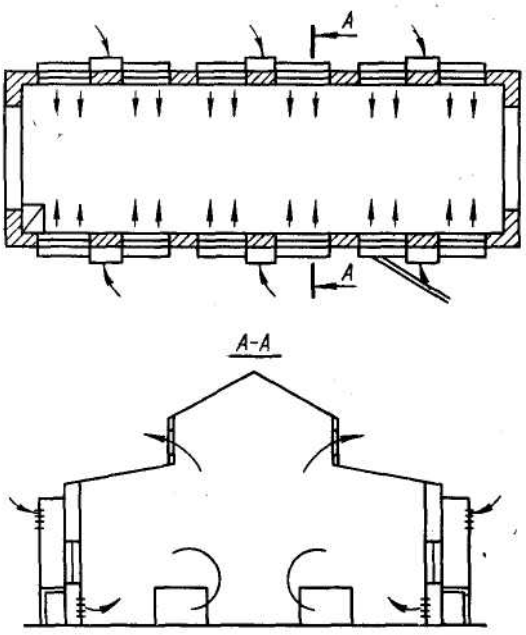


Рисунок 4.1 - Схема аерації приміщень

Для здійснення аерації є достатні за площею і правильно розташовані отвори для введення свіжого і видалення забрудненого повітря. У холодну пору року зовнішнє повітря вводять на висоті, з якою повітря, переміщаючись до робочої зони, нагрівається до необхідної температури в результаті перемішування з внутрішнім повітрям.

4.2.2 Освітлення на стані гарячої прокатки

У цеху гарячої прокатки застосовується природнє і штучне освітлення. Для освітлення приміщень, як правило, передбачають газорозрядні лампи низького і високого тиску (люмінесцентні, ДРЛ).

Норму освітленості вибирають залежно від характеристики зорової роботи, види якої по напруженості ділять на вісім розрядів, з подразрядів. Розряд залежить від величини об'єкта розрізнення, а подразряд від фону і контрасту між об'єктом розрізнення і фоном таблиця 4.3.

Найменша освітленість робочих поверхонь і території підприємств, які потребують обслуговування при аварійному режимі, повинна складати 5% робочого освітлення, але не менше 2лк всередині будівель і 1лк для території. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати найменшу освітленість на підлозі основних проходів, на землі і на сходах 0,5 лк у приміщенні і 0,2 лк на відкритих територіях. Правильне освітлення робочих місць в цеху має велике значення для створення безпечних умов праці.

Природне освітлення цеху здійснюється через світлові прорізи і світлові ліхтарі в даху будівель, тому його поділяють на бічне і верхнє. Раціональним вважається природне освітлення, що забезпечує хорошу рівномірність освітлення. Освітленість, створювана денним природним світлом, змінюється в широких межах: протягом декількох хвилин вона може збільшуватися або зменшуватися в кілька разів.

Таблиця 4.3 - Прийняті значення освітленості в цеху

Назва відділення ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість (лк) і коефіцієнт запасу при люмінесцентних лампах			Аварійне освітлення (лк)	
		Система комбінованого освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Для тривалих робіт	Евакуаційне
НТЛС1680	VII	-----	150	1,5	10	0,5

Штучне освітлення в залежності від розташування джерела світла поділяють на загальне, місцеве і комбіноване. Загальне освітлення застосовується для освітлення прольотів цехів. Місцеве освітлення застосовується в якості додаткового при виконанні точних робіт, на пультах управління, на верстатах, при роботах, пов'язаних з ремонтом обладнання та нагрівальних пристроїв.

В освітлювальних установках прокатного цеху застосовуються лампи розжарювання і газорозрядні лампи. Для місцевого освітлення застосовуються лампи розжарювання. З газорозрядних джерел світла в освітлювальних установках цеху застосовуються люмінесцентні лампи і ртутні лампи високого тиску з виправленою кольоровістю типу ДРЛ.

У виробничих приміщеннях прокатного цеху застосовуються світильники наступних типів: «Універсаль» і типу «Люцетта цільна» - переважно прямого світла відкритого типу; світильники типу «куля» - розсіяного світла; світильники спеціального призначення серії РН і ВЗГ рудничного типу.

Крім робочого освітлення в прокатному цеху влаштовують аварійне освітлення. Воно призначене для безперебійного обслуговування агрегатів та устаткування у разі виходу з ладу робочого освячення і діє від незалежного джерела електроенергії.

4.2.3 Захист від виробничого випромінювання

Одним з найбільш істотних факторів, що визначають несприятливі умови праці на НТЛС 1680, є тепловипромінювання. Для захисту робітників від тепла, випромінюваня прокатувальним металом, встановлюють водяні екрани між робочим місцем і місцем проходження гарячого металу.

Розпечений прокатуваний метал являє собою переміщувані по цеху джерела тепла. Променистa енергія на відстані 1м від прокату становить до 279 - 349Вт/м^2.

Для зменшення тепловипромінювання в цеху максимально знижують температуру джерел променевого тепла. Зниження температури джерел випромінювання тепла в прокатних цехах практично здійснюються збільшенням товщини стінок агрегатів, теплоізоляцією їх зовнішньої поверхності або охолодженням цих поверхностей.

Для захисту працюючих від тепловипромінювання, поряд із зменшенням інтенсивності випромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання і працюючими екранами або завісами, що затримують інфрачервону радіацію.

При застосуванні порожнистих екранів з циркулюючої водою або при безперервному змочуванні водою простих екранів, виконаних з листової сталі, теплове випромінювання затримується повністю.

При екрануванні необхідно залишати між тепло володіющею поверхнею і екраном повітряний проміжок (80 - 200 мм) для вільної циркуляції повітря. Якщо за характером виробництва потрібно вести спостереження за процесами, то екрани виконуються з прозорих матеріалів або густої металевої сітки.

Водяні завіси у вигляді суцільної пелени води, а також водоструменевої або водоповітряної завіси дозволяють зменшити вплив тепловипромінювання на робочих місцях на 60 - 85%, причому видимість крізь завіси істотно не

погіршується. Водяні завіси слід застосовувати, наприклад, у робочих вікон нагрівальних печей, у місцях маркування гарячого металу і т.п.

Засобами індивідуального захисту від тепловиділень є густі металеві сітки або брезентові штори зі вставленими в них синіми стеклами. Густа мідна сітка знижує теплове опромінення особи приблизно в 3-4 рази, а шторки захищають особу від тепловипромінювання майже повністю. Велике значення у боротьбі з променистим теплом і теплом, що передається конвекцією, має спеціальний одяг. Матеріал для спецодягу застосовують з незаймистих тканин, стійких проти впливу променистого тепла, міцних, м'яких, що володіють великою повітропроникністю для полегшення повітрообміну тіла людини, що працюють з навколишнім середовищем.

4.2.4 Захист від виробничого пилу

Пил при прокатці утворюється в результаті подрібнення окалини валками і випаровування внаслідок миттєвого збільшення тиску та підвищення температури.

Основними заходами щодо боротьби з пилом у прокатному цеху є: введення раціональних технологічних процесів, застосування ефективної герметизації і аспірації всіх пиловиделяющих джерел, зволоження пилу водою або парою; пристрій спеціальної пилоуловлювальної вентиляції від місць пилоутворення з очищенням повітря перед викидом його в атмосферу через систему фільтрів (розрахунок витяжного накриття над джерелом тепло- і пиловиділення); регулярне прибирання пилу з робочих місць спеціальними пилососами, застосування індивідуальних засобів захисту (респіраторів, окулярів, спецодягу тощо).

Природний повітрообмін, як правило, не забезпечує нормальних умов праці на робочому місці. Тому в таких випадках застосовується душуюча вентиляція і водорозпиленя.

Найбільш простим способом знепилювання повітря є, зрошення водою через форсунки. Ефективність дії пересувних душуючих установок підвищується при додаванні розпорошеної води. Для підвищення ефективності повітряного душування забезпечують високу дисперсність і правильне дозування розпилючої води. Що застосовується в прокатному цеху водяний захист. У цьому випадку з периферії повітряного струменя від віялових агрегатів створюється завіса із дрібнорозпиленої води, що покращує метеорологічні умови на робочому місці.

4.2.5 Захист від виробничого шуму і вібрації

Агрегати, що створюють сильний шум внаслідок вихреутворення або вихлопу повітря або газу, вентилятори, пневматичні інструменти і машини постачають спеціальними глушниками.

Зниження шуму звукоізоляцією досягається шляхом розташування оператора в звукоізолюючій кабіні, звідки він спостерігає та керує технологічним процесом, забезпеченою вікном з 2 - або 3-шаровим склінням, герметичними дверима і спеціальною системою вентиляції. Від впливу прямого звуку оператори захищаються за допомогою екранів, які розташовуються між робочим місцем і прокатним станом.

За допомогою звукоізолюючих перешкод можна знизити рівень шуму на 30 - 40 дБА. Ефективними звукоїзоліюючими матеріалами є метали, бетон, дерево і т.п.

Для зниження шуму в приміщенні проводять його акустичну обробку, тобто наносять звукопоглинаючі матеріали на внутрішні поверхні, а також розміщують в приміщенні штучні звукопоглиначі.

Інтенсивність вібрацій деталей агрегатів, маючи великий випромінювальний шум поверхні (корпусу агрегатів, кожухів, кришок і т. п.), зменшують таким шляхом:

- пристрої гнучких зв'язків між цими деталями і вузлами агрегату, що викликають вібрації;
- заміна металевих деталей на пластмас або інші матеріали;
- заміна підшипників кочення підшипниками ковзання у випадках, коли переважаючим шумом є шум підшипників.

Ослаблення вібрації досягається застосуванням віброізоляції віброгасильних підстав під робоче місце оператора.

Віброізоляція є засобом боротьби з вібрацією і шумом. Добре зарекомендували себе віброізолюючі опори, які застосовуються при установці виробничого обладнання. Пружинні амортизатори використовують для віброізоляції майданчиків, вентиляторів тощо.

Робітники, що працюють на машинах і агрегатах, що передають вібрацію на робочі місця, працюють у віброгасильному взутті, у разі необхідності застосовують наколінники.

Відповідно до санітарних норм і правил сумарний час контакту робітників з вібруючими поверхнями не перевищує двох третин тривалості робочого часу.

Для захисту від вібрацій застосовуються способи, основними з яких є: застосування безперервних процесів замість періодичних; застосування віброізолюючих і вібропоглинаючих матеріалів і конструкцій; якісний монтаж обладнання та його динамічне балансування; застосування динамічних гасителів вібрації.

4.3 Заходи з електробезпеки

На стані гарячої прокатки велика частина електроустаткування працює при напрузі до 1000 В. Різні контрольно-вимірювальні прилади, пристрій автоматики, штучне освітлення виробничих приміщень живляться від електричної мережі. Застосовують і висока напруга - 6кВ.

На безпеку електрообладнання суттєво впливають умови виробничого середовища, від яких залежить стан ізоляції і електричний опір тіла людини.

Відділення станового прольоту відноситься до сухого, жаркого і запиленого приміщення, відносна вологість 50%, що не перевищує 60%, температура повітря +33 ^{0}С, що перевищує на 3^{0}С і має струмопровідний пил оксиди заліза.

Підвищена температура в приміщенні прискорює старіння ізоляції, що призводить до зниження її електричного опору і навіть до руйнування. При підвищеній температурі повітря знижується опір тіла людини внаслідок поту і зволоження шкіри.

На стані гарячої прокатки відділення станового прольоту за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до особливо небезпечних приміщень, оскільки температура повітря перевищує і має струмопровідні підлоги.

Практично всі приміщення, в яких встановлено електрообладнання, за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відносимо до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки приміщення цеху гарячої прокатки спекотні, що викликають значні виділення вологи на тілі людини.

При пошкодженні ізоляції електрообладнання напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станини і т.д.), яке в нормальному положенні не знаходяться під напругою. При зіткненні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека ураження електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при дії електричного струму через дугу, безпосередньо зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами (випадковому не викликавши виробничою необхідністю, або вплив помилкової подачі напруги під час ремонтів і оглядів), при дотику до металевих частин обладнання, що випадково опинилося під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором

ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцій, що випадково опинилися під напругою; при впливі крокових напруг і ін.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне обладнання: електричний привід, електрообладнання підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні та освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні заходи захисту від ураження електричним струмом:

- захист від дотику до струмоведучих частин;
- захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою;
- захист від струмів надмірної сили (короткого замикання);

У першому випадку застосовують огорожі та ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги. У другому випадку застосовують захисне заземлення, занулення, пристрій автоматичного відключення електроустановки.

До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки та ін.

4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Джерелами пожежної небезпеки в цеху гарячої прокатки є: наявність легкозаймистих і горючих рідин, горючих (природний, коксовий і доменний) газів, лакофарбових матеріалів і розчинників, промаслених матеріалів; виділення горючих сумішей і пилу в процесі виробництва на агрегатах і вентиляційних установках; іскріння в електроустановках і статичну електрику.

У таблиці 4.4 показано класифікація приміщень прокатного цеху з вибухопожежонебезпечності.

Таблиця 4.4 - Класифікація виробничих ділянок цеху з вибухопожежної та пожежної небезпеки згідно ОНТП. 24-86 і класи зон за ПУЕ

№ п/п	Відділення, дільниці, стани, агрегати, приміщення, майстерні, склади	Категорія	Клас приміщень і установок по зонах по ПУЕ
1	Верхній пічної рольганг (ВПР)	В	П-3
2	Нижній пічної рольганг (НПР)	В	П-3
3	«НТЛС-1680»	В	П-3

Усі виробничі, допоміжні та підсобні приміщення цеху повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння.

Пісок використовується для гасіння невеликих вогнищ загоряння горючих рідин (різні масла, солярки), електрокабелів, електропроводки та ін Гасіння піском проводити накиданням його на палаючу поверхню. Пісок також використовується для видалення невеликих патьоків горючих рідин, з метою обмеження розтікання горючих рідин при аварії, захисту цінного обладнання від дії теплових променів при пожежі (накидання на обладнання).

Повсть використовується для гасіння невеликих вогнищ загорянь. Накидається на палаючу поверхню і ізолює її від кисню, повітря.

Вуглекислота не проводить струм, тому вона може застосовуватися для гасіння пожеж в електроустановках, що знаходяться під напругою до 1000В. У цеху використовуються ручні вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-3, ВВ-5, ВВ-8 з балонами ємністю відповідно 2, 3, 5, 8 літрів.

На ТЛС 3000 широко застосовується повітряно-пінна установка. Вона встановлюється для гасіння пожеж в початковій стадії. Її можна успішно використовувати при займанні масла в гартівних ваннах, на ділянках потокових ліній виготовлення кріпильних виробів.

У цеху передбачена пожежна сигналізація типу ЕПС - електронна пожежна сигналізація, забезпечена термодатчиками і датчиками полум'я.

Поширеним видом зв'язку є пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з об'єктом, що охороняється, не вимагаючи при цьому передачі адреси пожежі.

4.5 Розрахунок струму, що проходить через тіло людини, при дотику до фазного проводу трифазної трьохдротової мережі з глухозаземленою нейтраллю

Перший випадок:

1) опір тіла людини $R_{ТЛ} = 600$ Ом,

2) ємність фаз щодо землі $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ мкФ,

3) опір ізоляції фаз відносно землі, $r_1 = r_2 = r_3 = r = 4$ кОм.

Струм, що проходить через людину, визначається за формулою, А:

$$I_{ТЛ} = \frac{U_Ф}{R_{ТЛ} + \frac{r}{3}}; \tag{4.1}$$

де $R_{ТЧ}$ - опір тіла людини, Ом;

$U_Ф$ - фазна напруга мережі ($U_Ф = 220$ В);

r - опір ізоляції фаз відносно землі ($r = 4000$ Ом);

Тоді струм, що проходить через тіло людини, мА:

$$I_{ТЛ} = \frac{220}{600 + \frac{4000}{3}} = 0{,}11 мА.$$

Другий випадок:

1) опір тіла людини, $R_{ТЛ} = 1000$ Ом;

2) опір ізоляції фаз відносно землі $r_1 = r_2 = r_3 = \infty$, КОм;

3) місткість фаз щодо землі $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0{,}01$ мкФ;

4) відповідне ємнісний опір $X_C = 90$ кОм.

Струм, що проходить через тіло людини, при його дотику до фази мережі визначається за формулою, А:

$$I_{ТЛ} = \frac{U_Ф}{\sqrt{R_{ТЛ}^2 + \left(\frac{X_C}{C}\right)^2}}; \tag{4.2}$$

де $U_Ф$ - фазна напруга, В;

$R_{ТЧ}$ - опір тіла людини, Ом;

X_C - ємнісний опір, Ом.

При $X_C = 90000$ Ом отримаємо:

$$I_{ТЛ} = \frac{220}{\sqrt{1000^2 + \left(\frac{90000}{3}\right)^2}} = 0{,}0073A = 7{,}3мА.$$

Проведений розрахунок показує, що в трифазній трехдротовій мережі з глухозаземленою нейтраллю небезпеку для людини, що доторкується до одного з фазних проводів у період нормальної роботи мережі, залежить від опору проводів відносно землі: зі збільшенням опору небезпека зменшується.

ВИСНОВКИ

Розглянуто процеси, які відбуваються під час деформації металу в гарячому стані. Визначено фактори, що найбільше впливають на формування структури металу після деформації.

Показано перспективність розвитку процесу ТМО (термомеханічної обробки) при виробництві прокату з урахуванням її геометричних розмірів та особливостей виробництва: надзвичайно малий перетин і високі швидкості деформації, які відрізняють цей вид металопродукції від інших, отриманих гарячою прокаткою.

Представлено результати використання такого інструменту, як моделювання температури, з метою отримання необхідних механічних властивостей прокату при гарячій прокатці. Ураховано наявні технологічні можливості прокатного стану, а також вплив гарячої пластичної деформації та хімічного складу на структуру.

Наведено результати застосування термомеханічної обробки при прокатці та її вплив на структуру готового прокату.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.

2. Середа Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.

3. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. Запорожье : ЗГИА, 2008. 224 с.

4. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

5. Середа Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.

6. Середа Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

7. Середа Б.П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.

8. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials.* (Brno, May 20 - 22, 2020). Brno, 2020. P. 440-445.

9. Явтушенко О.В., Проценко В.М., Бондаренко Ю.В. Розрахунок нормальних контактних напружень в осередку деформації під час прокатування штаб. *Металургія* : зб. наук. праць. 2019. № 1. С. 85-92

10. Середа Б.П., Прищип М.Г., Михайлін В.М., Жагров А.С., Бєлоконь Ю.О. Дослідження технологічних мастил за формозміною штаби у процесі холодної прокатки. *Металургія*. 2013. 1. С. 116-120.

11. Бєлоконь Ю.О. Фізичні процеси при пластичній деформації : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 179 с.

12. Ніколаєв В.О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату : підручник для ВНЗ. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 319 с. : іл.

13. Ніколаєв В.О. Обтискне та сортове виробництво прокату : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 129 с.

14. Середа Б.П., Прищип М. Г. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва : метод. вказівки до лабораторного практикуму : для студ. ЗДІА спец. ОМТ ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 42 с.

15. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

16. Середа Б. П., Бєлоконь Ю. О., Оніщенко А. М. Теорія обробки металів тиском : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 129 с.

17. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів : підручник. Київ : Вища школа, 2002. 374 с.

18. Пахаренко В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням, тиском та зварювання). Лабораторний практикум : навч. посіб. / В. Л. Пахаренко, М. М. Марчук, П. І. Івасюк ; НУВГП. Рівне : НУВГП, 2013. 126 с.

19. Обробка металів тиском при нестаціонарних температурних умовах : монографія / Б.П.Середа, І.В.Кругляк, О.А.Жеребцов, Ю.О.Бєлоконь. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 252 с. ISBN 978-966-8462-15-3.

20. Федьков В.Г. Механічне обладнання металургійних заводів : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 91 с.

21. Середа Б. П., Кругляк І. В., Бєлоконь Ю.О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском : навч.-метод. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 166 с.

22. Польський О., Бєлоконь Ю.О. Автоматизоване проектування режиму деформації штаб на станах холодної прокатки. *Молода наука – 2020 : збірник наукових праць XIII університетської науково-практичної*

конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених. (Запоріжжя, 13-15 квітня 2020 р.). Запоріжжя: ЗНУ, 2020. Т. 5. С. 124-125.

23. Сабіров В.Г., Проценко В.М. Про профілювання робочих і опорних валків чистової групи клітей широкоштабового стану НСГП-1680. *XXII науково-технічна конференція студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, (23-27 жовтня 2017 р., Україна).* Запоріжжя : ЗДІА, 2017. С. 55.

24. Андрєєва К. Р., Проценко В. М. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмі Autocad Mechanical. *Молода наука-2019* Запоріжжя: ЗНУ, 2019. Т. 5 С. 77-78.

25. Хайло Д.В., Кругляк Д.О. Оптимізація температурно-швидкісних параметрів прокатки інструментальних сталей. *Матеріали XXIII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА (Запоріжжя, 23-26 жовтня 2018). Металургія як основа сучасної промисловості*, Т. 1, Запоріжжя: ЗДІА, С. 40.

26. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Bondarenko Y.V., Kirichenko A.G., Ping. Y. Numerical Experiment for the Calculation of Normal Contact Stress in the Deformation Center when Rolling a Metal Strip. *Journal of Engineering Sciences*. 2019. Т. 6. № 2. С. 31-35.

27. Пікалов О. М., Бондаренко Ю. В. Дослідження істинного опору деформації за гарячої прокатки вуглецевих сталей. *Матеріали XXII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА*, 2017, ЗДІА, Т.1. С. 54.

28. Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Лінник Ю.М., Рязанов О.А., Шеїн А.В. Шляхи підвищення надійності вузлів прокатного стану. *Сучасні проблеми металургії* 2020. С.10-19.