

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерний навчально-науковий інститут
(назва факультету)
Кафедра обробки металів тиском
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

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

на тему Аналіз деформуємо-деформованого стану
при деформатії зливків

Виконав: студент II курсу,
Булгаков І.О.
(ПІБ)

групи 8.1369-016
Б.У.І
(підпис)

спеціальності

136 "Металургія"
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Обробка металів тиском
(шифр і назва)

Керівник Белоконь Ю.О.
(прізвище та ініціали)

[Підпис]
(підпис)

Запоріжжя - 2020 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний новітньо-науковий інститут
Кафедра Обробки металів тиском
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 136 "Металургія"
(шифр і назва)
Спеціалізація _____
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]

" " 20 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Булганов Ігор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема магістерської роботи Аналіз карбушено-деформованого стану при деформуванні зливків

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "25" 05 2020 року № 596-с

2. Строк подання студентом магістерської роботи до 01 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані магістерської роботи Об'єкт дослідження - зливки
гобо ПГАТ "Дніпроенерджес". Розміри заготовок - $h_0 = 520 \text{ мм}$,
 $h_1 = 470 \text{ мм}$, $R = 450 \text{ мм}$, $f = 0,55$, $t = 1150^\circ \text{C}$.
Сталь - 12X18H10T

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; 1. Аналіз наукової інформації та стан проблеми; 2. Дослідницько-розробоча задача;

3. Обробка і обговорення результатів дослідження.

4. Охорона праці та ризикення безпеки.

5. Економічні аспекти виробництва; Висновки;

Перелік посилань.

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

Презентація до 15 листопада

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв	
1	Белощов Ю.О., доцент кафедр. ОМБ		
2	Белощов Ю.О., доцент кафедр. ОМБ		
3	Белощов Ю.О., доцент кафедр. ОМБ		
4	Белощов Ю.О., доцент кафедр. ОМБ		
5	Белощов Ю.О., доцент кафедр. ОМБ		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примі
1	Аналіз наукової інформації та бан проблем	до 19.09.20	викон
2	Дослідницько-розробницька робота	до 02.10.20	викон
3	Обробка і обговорення результатів дослідження	до 24.10.20	викон
4	Охорона праці та техногенна безпека	до 06.11.20	викон
5	Економічні аспекти проблеми	до 14.11.20	викон
6	Вступ, висновки, резюме, література	до 21.11.20	викон
7	Підготовка презентації	до 27.11.20	викон

Студент

(підпис)

1.О. Бургалов
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

(підпис)

Ю.О. Белощов
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної магістерської роботи: 105 с., 11 таблиць, 45 рисунків, 45 літературних джерел.

Об'єкт розробки – обтискний стан блюмінг 1050 ПАТ “Дніпроспецсталь”.

Мета роботи – одержати математичні моделі напружено-деформованого стану металу при гарячій прокатці щодо товстих заготівель на обтискних станах.

Метод дослідження – аналітичний розрахунок із застосуванням методів математичної статистики.

Проведений аналіз технологічних параметрів прокатки на формування кінців розкату і вихід придатного з якого виходить, що основними факторами є величина сумарного обтискання зливка і середнє обтискання за прохід.

З урахуванням результатів виконаного дослідження енергосилових параметрів, розроблене калібрування валків і розраховані режими обтискань для прокатки профілерозмерів основного сортаменту стану забезпечуючі скорочення обважнюють торців, блюмів без погіршення якості осьової зони розкату.

У економічній частині приведені розрахунки економічної ефективності результатів виконаного дослідження.

ПРОКАТКА, СТАН 1050, КЛІТЬ, ЗЛИВОК, КАЛІБРУВАННЯ, КАНТУВАННЯ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ, ДЕФОРМАЦІЯ, РЕЖИМ ПРОКАТКИ.

ABSTRACT

Expl message to final work: 105 p., 11 tables, 45 pictures, 45 sources.

Object of development is calibration of blooming rollers 1050.

Purpose of work is improvement of calibration of rollers with the purpose of diminishing of offcuts of metal.

Research method is analytical calculation with the use of methods of mathematical statistics.

The mathematical model of degree of the use of resource of plasticity of axial area of roll, allowing to estimate propensity of metal to formation of internal defects, is developed.

The analysis of technological parameters of rolling is made on forming of ends of roll and output of suitable which it ensues from, that by basic factors determining the depth of making heavier of butt ends of blooms, there are the size of total preload of bar and middle preload for a passage-way.

Taking into account the results of the executed research of parameters, calibration of rollers is developed and the modes of preloads are expected for rolling of basic assortment of figure making heavier of butt ends providing reduction, blooms without worsening of quality of axial area of roll.

The calculations of economic efficiency of results of the executed research are resulted in economic part.

ROLLING, FIGURE, BAR, ROLL, CALIBRATION OF ROLLERS, PARAMETERS, DEFORMATION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Аналіз режиму деформації на блюмінгу	10
1.2 Вплив напруженого стану металу і режиму деформації зливків на якість блюмів	19
1.3 Вплив технологічних параметрів прокатки на формування кінців розкату.....	25
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	37
2.1 Постановка задачі дослідження	37
2.2 Методика теоретичних досліджень	39
2.3 Етапи математичного моделювання	47
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	59
3.1 Аналіз даних отриманих в ході математичного моделювання	59
3.2 Закономірності зміни ступеню використання запасу пластичності осьової зони прокатуємих відносно товстих заготовок при варіюванні геометричних факторів осередку деформації	62
3.3 Математичне моделювання експерименту	72
3.4 Практична цінність отриманих результатів	79
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	82
4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища	82
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів	84
4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії	84
4.4 Пожежна та техногенна безпека	90
4.5 Заходи щодо захисту навколишнього середовища	91

4.6 Інженерна розробка медичного захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	92
5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ.....	96
5.1 Капітальні вкладення	96
5.2 Розрахунок економічного ефекту	96
5.3 Розрахунок собівартості 1 тони металу	97
ВИСНОВКИ.....	99
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	101

ВСТУП

Виробництво блюмів, що включає в себе безліч технологічних операцій на різних видах устаткування і є одним з напрямків, що найбільше динамічно розвиваються, у чорній і кольоровій металургії. Саме показники якості й обсяги виробництва напівпродукту значною мірою характеризують ступінь індустріалізації й розвитку науково-технічного прогресу на державному рівні. Наявність відповідних потужностей і ефективність їх використання, у свою чергу, визначаються рівнями розвитку наукових, проектно-конструкторських і проектно-технологічних основ, суттєвий внесок у розвиток яких внесли Бровман М.Я., Видрін В.Н., Горелік В.С., Гребенік В.М., Грудєв А.П., Долженков Ф.Е., Железнов Ю.Д., Зільберг Ю.В., Кліменко В.М., Коновалов Ю.В., Корольов А.А., Луговской В.М., Меєрович И.М., Мелешко В.И., Мінаєв А.М., Полухін П.И., Потапкін В.Ф., Рокотян Е.С., Рокотян С.Е., Руденко Е.А., Сафьян М.М., Середа Б.П., Старченко Д.И., Третьяков А.В., Хіміч Г.Л., Целіков А.И., Чекмарев А.П., і ряд інших вітчизняних і закордонних вчених.

Незважаючи на розвиток машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) на багатьох металургійних комбінатах продовжують працювати обтискні і безперервно-заготівельні стани, що робить актуальним продовження досліджень, спрямованих на розвиток методів розрахунку, підвищення ступеня комп'ютеризації проектно-конструкторських і проектно-технологічних робіт, розробку конкретних практичних рекомендацій і, як наслідок, на вдосконалення та підвищення техніко-економічних показників відповідних технологій та обладнання.

Метою даної роботи - розробка алгоритмів розрахунку режимів деформації блюмів на підставі математичної моделі, яка б дозволила описати вплив процесу прокатки на блюмінгу на ступінь зрушення й запасу пластичності.

При постановці завдань роботи було виділено декілька ключових моментів:

- Проведення моделювання за допомогою спеціального комп'ютерного пакета Deform гідростатичної напруги, нормальних і дотичних напруг, а також лінійних і деформацій зсуву при прокатці щодо товстих заготовок;
- Використовуючи результати моделювання теоретично визначити інтенсивність деформації, ступінь деформації зсуву й запас пластичності заготовок;
- За допомогою планового експерименту одержати регресійні залежності, що описують вплив геометричних параметрів осередку деформації на запас пластичності металу.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Аналіз режиму деформації на блюмінгу

Режим деформації зливків на блюмінгу встановлює послідовність проходів і кантівок по калібрах, величину обтисків в кожному проході. Будучи основним технологічним документом, режим деформації багато в чому визначає техніко-економічні показники стану, безаварійну роботу і ступень використання устаткування. Відомо, що режим деформації враховує допустимі умови захвату, стійкості, міцності устаткування і потужності приводу, а також для деяких спеціальних сталей і сплавів реальний ресурс пластичності. Розробка режиму деформації, що задовольняє перерахованим умовам, на сьогодні практично зводиться до вибору одного з численних можливих варіантів послідовності серії проходів і кантівок. Насущні завдання створення системи автоматизованого управління режимом прокатки викликали необхідність розробки алгоритму розрахунку режиму деформації зливків. Використання цього алгоритму значно спрощує і ручний розрахунок режиму обтискань.

Вирішальним чинником, що визначає порядок кантівок, є стійкість штаби, визначувана гранично допустимим співвідношенням сторін її поперечного перерізу $M = h_0/b_0$. Отже, при заданих початкових розмірах заготівлі (h_0 , b_0), розрахувавши допустиму за умовами захоплення і міцності устаткування величину обтискання Δh_p , число проходів до кантівки визначається співвідношенням, отриманим в результаті теоретичного і експериментального досліджень:

$$n \leq \frac{h_0(M - b_0/h_0)}{\Delta h_p(M + k)} \quad (1.1)$$

де $k = \Delta b/\Delta h$ - середній показник розширення в серії проходів до кантівки.

Якщо прийняте число проходів в серії більше розрахованого по формулах (1), фактична величина обтискання буде обмежена умовою стійкості штаби:

$$\Delta h_{\phi} = \frac{h_0(M - b_0/h_0)}{n \cdot (M + k)} \quad (1.2)$$

де n - вичислене по (1.1), і закруглена до найближчого парного числа кількість проходів в серії.

Прокатка на гладкій бочці стає неефективним, якщо можливе число проходів, вичислене по (1.1) менше 4, або фактична величина обтискання Δh_{ϕ} , при якій дотримується умова стійкості, складає менше 75% від можливої Δh_p . В цьому випадку по (1.1), визначають число проходів, величину обтискання і розміри розкату в останній серії на гладкій бочці, прийнявши при розрахунках $M = 1,7$.

Розрахунок режиму обтискань в калібрах ведеться від останнього калібру до першого. Як правило, в останньому i -ом калібрі виконують один (останній) прохід. По заданих розмірах кінцевого перерізу блюма h_1 і b_1 визначають ширину калібру

$$b_k = b_1 / \chi \quad (1.3)$$

де $\chi = 0,98$ - коефіцієнт заповнення калібру.

Обтискання в випускаючому проході Δh_i , приймають за даними попереднього розрахунку по ходу прокатки. Визначивши розширення $\Delta b' = \Delta h'k$ розраховують ширину дна калібру $K_d = b_1 - \Delta b'$ і глибину струмка

$$h_p^i = \frac{b_k^i - b_a^i}{2 \operatorname{tg} \psi^i} \quad (1.4)$$

де ψ - величина випуску i - го калібру, для останнього калібру зазвичай приймають 15-20%, для попередніх калібрів - до 30%.

При розрахунку проти ходу прокатки для попереднього $i-1$ калібру початковими даними є:

$$b_1^{i-1} = h_0^i = h_1 + \Delta h^i \quad (1.5)$$

$$h_1^{i-1} = b_0^i = b_1 - \Delta b^i \quad (1.6)$$

$$h_p^{i-1} = h_p^i$$

Подальший розрахунок передбачає визначення кількості проходів i величини обтиску за проходами в $i-1$ калібрі з одночасним розрахунком конструктивних параметрів калібру. Сумарне обтиснення в калібрі обмежене прийнятним випуском

$$\Delta h_{\Sigma} = \frac{b_k - b_0}{k} = \frac{2h_p \cdot \text{tg} \psi}{k} \quad (1.7)$$

або умовою стійкості розкату

$$\Delta h_{\Sigma} = \frac{b_1^{i-1}(1,7 - h_1^{i-1})}{1 + 1,7 \cdot k}$$

За мінімальною величиною допустимого сумарного обтискування Δh_{Σ} по умові (1.8) визначають число проходів в калібрі n^{i-1} і фактичну величину обтискування Δh в кожному проході.

$$\Delta h_{\phi}^{i-1} = \frac{\Delta h_{\Sigma}^{i-1}}{n^{i-1}} \leq \Delta h_p \quad (1.8)$$

Після обчислення по (1.5), (1.6) розмірів перерізу розкату у кінці прокатки в $i-1$ калібрі перевіряють можливість отримання розмірів $h_{1, i-1}$ і $b_{1, i-1}$ безпосередньо з підкату, отриманого в останньому проході на гладкій бочці з розмірами h_1 і b_1 .

$$h_1^E < b_1^{i-1}; \quad (1.9)$$

$$(b_1^E - h_1^{i-1}) \cdot k \leq b_1^{i-1} - h_1^E \quad (1.10)$$

Якщо умови (1.9), (1.10) не виконуються, необхідно отримувати початкову штабу під $i-1$ калібр з розмірами $h_{0, i-1}$ і $b_{0, i-1}$ з $i-2$ калібри. Інакше цей $i-1$ калібр буде першим, в якому можна здійснювати прокатку після гладкої бочки, а i -й калібр, відповідно, другим. Для цього необхідно добитися виконання нерівності:

$$(b_1^E - h_1^{i-1}) \cdot k \leq b_1^{i-1} - h_1^E \quad (1.11)$$

Цього можна досягти зменшенням сумарного обтискання в другому калібрі

$$\Delta h_{\Sigma}^{II} = \frac{h_1^I - h_1^E - k(b_1^E - b_1^{II})}{k^2 - 1} \quad (1.12)$$

де h_1 , b_1 - розміри розкату у кінці серії прокатки в 2-му калібрі.

Виконання рівності (1.11) можна також досягти зменшенням сумарного обтискання в останній серії прокатки на гладкій бочці

$$\Delta h_{\Sigma}^E = \frac{b_1^I - h_0^E - k(b_0^E - h_1^I)}{k^2 - 1} \quad (1.13)$$

Тоді сумарне обтискання в першому калібрі складе

$$\Delta h_{\Sigma} = b_1^E - h_1^I \quad (1.14)$$

фактична величина обтискання в першому калібрі Δh_{ϕ} і число проходів визначається по умові (1.8).

При розрахунку режиму обтискань для заданого калібрування валків і вище переліченим вимогам, що пред'являються до режиму обтискань, додаються наступні:

- при передачі розкату після кантівки в перший або черговий калібр його ширина повинна відповідати ширині дна цього калібру;
- сумарне розширення в калібрі не повинне перевищувати простір на розширення, закладений в конструкції калібру.

Внесення цих додаткових обмежень, що впливають на допустиму величину сумарного обтискання в серії проходів, дещо змінює порядок розрахунку. Перед початком розрахунку за формулами (1.1)-(1.2) кожній новій серії проходів необхідно перевірити можливість прокатки під перший ящичний калібр

$$h = \frac{b_0 + k \cdot h_0}{1,7 + k} \leq b_0^I \quad (1.15)$$

де h - мінімальна по умові стійкості висота розкату, яку можна отримати із заготівлі з розмірами h_0 , b_0 ; b_d - ширина дна першого ящичного калібру.

Якщо умова (1.15) виконується - сумарна величина обтискання в останній серії на гладкій бочці складе

$$\Delta h_{\Sigma} = h_0 - b_{\circ}^i \quad (1.16)$$

Число проходів в серії і величина обтискання по проходах визначаються із співвідношення (1.8).

Розрахунок режиму обтискань в калібрах в даному випадку доцільно вести по ходу прокатки. По розмірах підкату, отриманого з гладкої бочки або попереднього калібру по (1.15) визначають мінімально можливу по умові стійкості висоту розкату.

Порівнюючи її з шириною дна калібру по (1.17) визначають номер калібру, в якому можливе подальше прокатування:

$$h \leq b_{\circ}^i \quad (1.17)$$

Розрахувавши сумарний обтиск в серії $\Delta h_{\Sigma} = h_0 - b_{\circ}^i$, сумарне розширення $\Delta b_{\Sigma} = k \cdot \Delta h_{\Sigma}$, визначають ширину розкату у кінці серії порівнюють її з шириною j -го калібру:

$$h = h_0 + \frac{b_0 + b_k^j}{k} \quad (1.18)$$

де j - номер калібру, в якому виконується ця серія.

Якщо умова (1.17) не виконується, мінімальна висота в серії обмежена не умовою стійкості, а простором на розширення цього калібру і обчислюється по (1.19)

$$h = h_0 + \frac{b_0 + b_k^j}{k} \quad (1.19)$$

У разі, коли нерівності (1.17) задовольняють декілька калібрів (у тому числі можливий випадок, коли $i=j$, тобто подальше прокатка після кантівки може вироблятися в тому ж калібрі) перевага віддається варіанту, що дозволяє досягти більшої величини сумарного обтискання в серії.

Після визначення сумарного обтискання в серії кількість проходів і величини обтискань по проходах приймаються згідно із співвідношенням (1.8).

Для отримання необхідних розмірів блюмів h_1 , b_1 мінімально допустимої висоту h , розраховану по (1.15) або (1.19) перед початком кожної серії порівнюють з висотою розкату у кінці передостанньої серії $k-1$, розраховану по (1.5), (1.6), прийнявши в останньому проході розрахункову величину обтискання $\Delta h' = \Delta h_p$. Якщо виконується умова $h \leq h_1^{i-1}$ - обчислюють сумарне обтискання в передостанній серії Δh_{Σ}^{i-1} :

$$\Delta h_{\Sigma}^{i-1} = h_0 - h_1^{i-1} \quad (1.20)$$

і із співвідношення (1.8) визначають кількість проходів і величини обтискань в цій серії.

Алгоритм розрахунку схем прокатки представлений на рисунку 1.1.

Після виведення початкових даних (блок 2) за викладеною методикою обчислюється режим обтискань (блок 3). Початковими даними для розрахунку є розміри зливка, необхідні розміри заготівлі, марка сталі, задані параметри стану, калібрування валків.

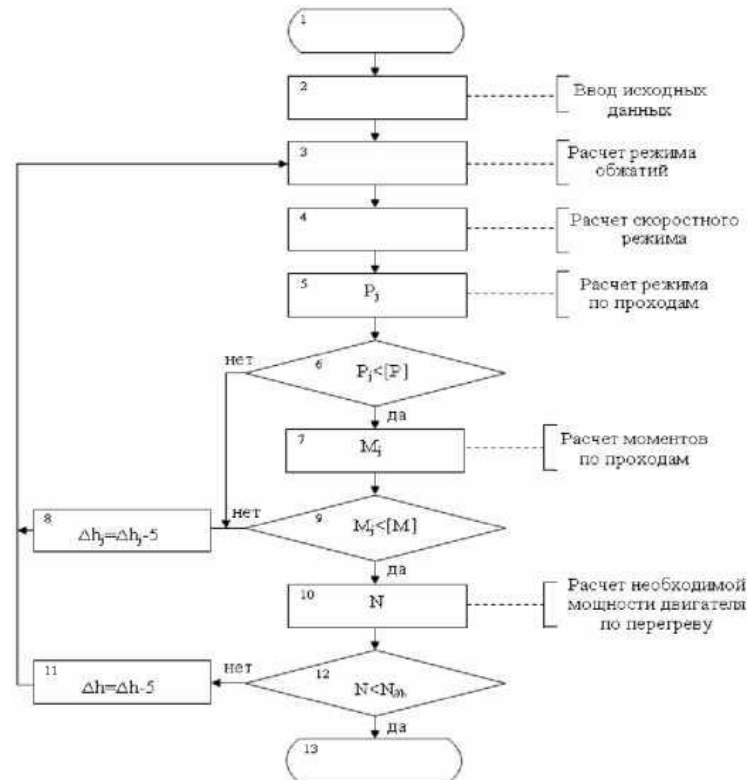
Для розрахунку зусиль (блок 5) прокатки використовуємо відому формулу []:

$$P = n_{\sigma} \cdot \sigma_s \cdot F_{\text{кон}} \quad (1.21)$$

де h_{cp} , - середні розміри розкату в проході, f - коефіцієнт тертя, n_a -

коефіцієнт напруженого стану, σ_s - опір деформації, $F_{\text{кон}}$ - контактна площа.

Коефіцієнт напруженого стану можна визначити по одній з відомих формул.



Рисунку 1.1 – Алгоритм розрахунку схем прокатки

В роботі [11] було проведено зіставлення результатів розрахунків по відомих; отриманим раніше формулам з даними промислових експериментів, проведених на обтискній кліті стану 1050/950. Аналіз результатів показав, що мінімальна погрішність розрахунків досягає 11%.

Проте, хоча аналіз результатів зіставлення показав можливість використання отриманих раніше залежностей необхідність збільшення швидкодії системи зажадала отримати прості залежності для розрахунку. На підставі зібраного в результаті промислових експериментів великого числа експериментальних даних в результаті їх статистичної обробки були отримані залежності апроксимацій для розрахунку n_a для умов обтискної кліті стану 1050/950. З метою спрощення залежностей і збільшення точності розрахунків формули отримані окремо для кожного калібру:

$$n_{\sigma} = 0,68 \frac{h_0}{D} + 0,29 \frac{b_0}{h_0} + 1,17 \frac{\Delta h}{h_0} + 0,612 \quad (1.22)$$

$$n_{\sigma} = 1,95 \frac{h_0}{D} + 0,36 \frac{b_0}{h_0} + 1,01 \frac{\Delta h}{h_0} - 0,14 \frac{b_0}{b_k} - 0,095 \quad (1.23)$$

$$n_{\sigma} = 1,62 \frac{h_0}{D} - 0,11 \frac{b_0}{h_0} + 4,12 \frac{\Delta h}{h_0} + 0,83 \frac{b_0}{b_k} - 1,09 \quad (1.24)$$

Для розрахунку опору деформації з банку даних залежно від марки сталі, поступають значення коефіцієнтів А, В, С, D, по формулі [9]:

$$\sigma_s = A \cdot \sigma_o \cdot V^B \cdot (10\varepsilon)^C \cdot (t/1000)^D \quad (1.25)$$

де V - швидкість деформації, с⁻¹, ε - ступень деформації в проході, t - температура прокатки.

Контактну площу обчислюємо за формулою

$$F_{\text{кон}} = b_{\text{ср}} \cdot \sqrt{D_k \cdot \Delta h / 2} \quad (1.26)$$

где b_{ср} - середня ширина розкату, D_к - катаючий діаметр калібру, в якому проводиться прохід, Δh - обтискання в проході.

При перевищенні в якому-небудь проході допустимого для цього калібру рівня зусиль величина обтискання зменшується і проводиться повторна перевірка (блоки 6, 8).

Епюра моментів для кожного проходу і середньоквадратичні значення моментів за увесь цикл прокатки розраховуємо за методикою, викладеною в [23]. При перевищенні в якому-небудь проході максимального значення моменту над допустимим в цьому проході обтискання, зменшуємо до

допустимої величини (блоки 7, 8, 9).

У кінці розрахунку перевіряємо двигун на перегрівання (блоки 10, 11, 12) і при необхідності проводять корекцію режиму обтискань [12].

1.2 Вплив напруженого стану металу і режиму деформації зливків на якість блюмів

Своєрідність процесу деформації штаб великих перетинів і характер зміни напружено-деформованого стану металу залежно від співвідношення подовжньо-вертикальних розмірів осередку деформації свідчать про доцільність застосування підвищених обтискань при прокатуванні важких злитків. При цьому немає підстави чекати погіршення якості прокатної продукції, тоді як продуктивність стану поза сумнівом підвищиться.

Необхідно нагадати, що скорочення числа проходів за рахунок підвищення приватного (одиничного) обтискання в кожному з них – не єдиний шлях підвищення продуктивності реверсивного обтискного стану. У практиці роботи вітчизняних блюмінгів і слябінгів, окрім цього шляху, використовують ще спосіб інтенсифікації процесу прокатки злитків за рахунок збільшення швидкості прокатки при відносно помірних обтисканнях.

Обидва напрями в тій чи іншій мірі приводять до скорочення циклу прокатки і, отже, до підвищення продуктивності стану, проте скорочення числа проходів є ефективнішим шляхом. Про це свідчать як накопичений досвід експлуатації реверсивних станів, так і теоретичні міркування, викладені в роботах В. А. Тягунова [15], а також інших авторів. Таким чином, при розробці раціональної технології прокатки злитків за початковий слід приймати режим обтискань, а швидкісний режим повинен бути визначений як найвигідніший для даної схеми роботи з розрахунку досягнення мінімальної тривалості всього циклу прокатки.

Крім того, як було показано, підвищені обтискання, особливо в перших проходах, сприяють розповсюдженню деформації стиснення на велику глибину

і знижують ступінь нерівномірності її розподілу по перетину, що повинно сприятливо позначитися на якості блюмів і слябів. В той же час підвищення швидкості прокатки приводить до погіршення захоплюючої здатності валків, до обмеження тим самим можливих величин обтискань і до посилення нерівномірності розподілу деформації стиснення по висоті перетину і зв'язку із зменшенням глибини розповсюдження останньої. В результаті розгляду енергетичної сторони процесу також слід віддати перевагу першому напрямку, оскільки скорочення числа проходів при постійному сумарному обтисканні приводить до збільшення частки корисної роботи стану в загальних витратах енергії. Збільшення швидкості прокатки знижує корисну і збільшує сумарну роботу стану [3].

Таким чином, єдино правильним і ефективним шляхом підвищення продуктивності блюмінгів і слябінгів є скорочення числа проходів. Не дивлячись на це, довгий час, аж до останніх років, прихильники так званої теорії обережних обтискань, виходячи з нібито низьких пластичних властивостей литого металу, що має грубозернисту або транскристалітну макроструктуру, заперечували можливість підвищення обтискань, тим самим стримуючи подальшу інтенсифікацію процесу прокатки на великих обтискних станах.

Дійсно, пластичні властивості литого металу дещо нижче, ніж обжатого, але для сталей більшості марок не настільки, щоб лімітувати величину обтискання, що допускається умовами захоплення і потужністю двигуна.

В результаті розгляду енергетичної сторони процесу також слід віддати перевагу першому напрямку, оскільки скорочення числа проходів при постійному сумарному обтисканні приводить до збільшення частки корисної роботи стану в загальних витратах енергії. Збільшення швидкості прокатки знижує корисну і збільшує сумарну роботу стану [4].

Ще в 1938 р. О.П. Чекмарев [1] відзначав допустимість збільшення обтисків при прокатуванні литого металу без погіршення його якості, особливо після першої кантівки. Небажаність підвищення обтискань до першої кантівки

пов'язана не з низькою пластичністю литої сталі, а з можливими «зривами» валків. Пізніше автор [5] писав «що повсюдно прийняті в даний час обтискання і витяжки при прокатуванні як маловуглецевих, так і легованих сталей далеко не вичерпують, як показують досліди і практика, пластичних властивостей металу при температурах прокатки». Не можна також не враховувати безперервне вдосконалення технології виплавки і розливання сталі, підвищення її якості, поліпшення нагріву злитків.

Щодо макроструктури литої сталі і її властивостей доречно послатися на думку Н. Н. Доброхотова [6], який вважав, що транскристалітна структура є ознакою хороших механічних властивостей сталі. Свідоцтвом незадовільних механічних властивостей є злам, а не транскристалізація, яка виявляється на полірованих шліфах, що труться на макроструктуру. Ці два поняття нерідко в літературі змішуються.

Дослідження Ю. М. Чижікова [7], проведене з метою вивчення впливу макроструктури сталі на її пластичність, хоч і не встановило межі пластичності сталі з різною макроструктурою, дозволило встановити, що:

- 1) макроструктура не є головним критерієм, що визначає пластичність металу;
- 2) стовпчаста структура не обумовлює низкою, а рівноосна – високої пластичності;
- 3) різниця в ступені пластичності литого і деформованого металу незначна.

Прокатки на клин литих зразків з рейкової сталі і сталі X18H9T [9] підтверджує ці висновки. Обидві сталі прокатувалися з обтисканням 90 – 97 % без руйнування. Звичайно, ці досліди не дають підстави вважати, що у виробничих умовах зливки здатні витримати такі обтискання, але вони свідчать, про вельми високі пластичні властивості литої сталі.

Відсутність загальновизнаних способів оцінки пластичності сталі у виробничих умовах, передача металу із сталеплавильних цехів на обтискові стани без перевірки прокатуєвості сталі хоч і затрудняють роботу прокатних

цехів, але не означають неможливості прокатки сталей більшості марок з підвищеними обтисканнями без погіршення якості блюмів. Про це свідчать досвід роботи блюмінга КМК, особливістю якого «являється прокатки злитків з малим числом пропусків і з великими обтисканнями» [10] і результати багатьох виробничих досліджень, до яких належать експерименти на блюмінгах заводів Златоустовського, «Азовсталь» і ім. Дзержинського [16].

Виробничі експерименти на блюмінгу заводу ім. Дзержинського дозволили встановити не тільки вплив різних схем прокатки (режимів обтискання і кантівок) на якість поверхні розкатів, але і на мікроструктуру металу і його механічні властивості.

Досвідчене прокатки злитків осьової сталі масою 6,5 т на блюми перетином 300 x 300 мм була проведена по трьох режимах (знаком «х» позначена кантівка):

I варіант – 17 проходів з чотирма кантівками: 4 (бочка) × 6 (бочка) × 4 (II калібр) × 2 (II калібр) × 1 (бочка);

II варіант – 15 проходів з чотирма кантівками:
4 (бочка) × 6 (бочка) × 2 (II калібр) × 2 (II калібр) × 1 (бочка);

III варіант – 13 проходів з п'ятьма кантівками:
2 (бочка) × 2 (бочка) × 4 (бочка) × 2 (II калібр) × 2 (II калібр) × 1 (бочка).

Ретельний огляд і фіксація пороків на заготовках, прокатаних по всіх варіантах режимів обтискань, дозволили встановити, що якість поверхні і блюмів і слябів з переходом на інтенсивніші режими обтискань не погіршала. Поперечні тріщини були відсутні у всіх випадках, що говорить про достатній запас пластичності литого металу. Подовжні тріщини, волосовина, плени і дрібні рванини, що є слідством низької якості металу, виявлені на поверхні всіх оглянутих заготовок в рівній мірі.

Проведене мікродослідження зразків, узятих від блюмів і слябів всіх варіантів прокатки, не підтвердило сталої думки, що при гарячому прокатуванні структуру металу визначають температура і обтискання в останньому проході. Розмір зерна виявився різко різним у блюмів трьох

варіантів прокатки (рис. 1.2) не дивлячись на однакові обтискання в трьох останніх проходах і температуру кінця деформації (1110 – 1125°C).

Інтенсивніші обтискання протягом всього циклу прокатки злитка, особливо по третьому варіанту (рис. 1.2, в), викликають посилене дроблення аустенітного зерна з виникненням збільшеної кількості центрів вторинної кристалізації при охолодженні. В результаті цього зерно виявляється дрібнішим, ніж в блюмах першого варіанту режиму обтискань. Ті ж результати дали мікродослідження слябів, прокатаних по різних режимах.

Отже, необхідно вважати встановленим, що розмір рекристалізованого зерна залежить від структурних перетворень в металі на будь-якій проміжній стадії його гарячої обробки тиском.

Можна було чекати, що відмінність у розмірі зерна позначиться на результатах механічних випробувань проб, узятих від блюмів всіх варіантів прокатки. Насправді цей вплив позначився тільки на показнику ударної в'язкості a_k , який при випробуваннях зразків осьовій сталі рівний:

Варіант прокатки	I	II	III
$a_k, \text{Мн} \cdot \text{м}/\text{м}^2$	0,59	0,61	0,66

Як бачимо, найбільш інтенсивним режимам обтискань в поєднанні з частими кантівками (III варіант при прокатуванні блюмів II варіант при прокатуванні блюмів) відповідають кращі показники ударної в'язкості.

Отже, механічні властивості сталі знаходяться в прямій залежності від режиму обтискань і істотно поліпшуються із зростанням приватних обтискань.

У початкових проходах із зростанням обтискання механічні властивості сталі підвищуються лише в при контактних шарах, де діють додаткові стискуючі напруги. У центральних шарах, схильних до дії додаткових розтягуючих напруг у зв'язку з наявністю серцевини, що не пропрацювала, пластичні властивості гірше, ніж у литого металу. У подальших проходах у міру зменшення перетину розкату і усунення подовжніх розтягуючих напруг пластичні властивості центральних шарів також підвищуються і тим більшою мірою, чим вище за обтискання за прохід.

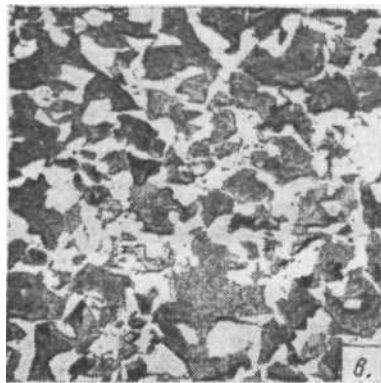
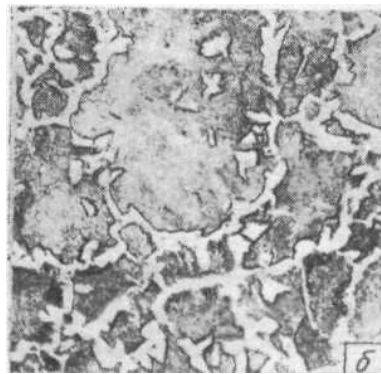
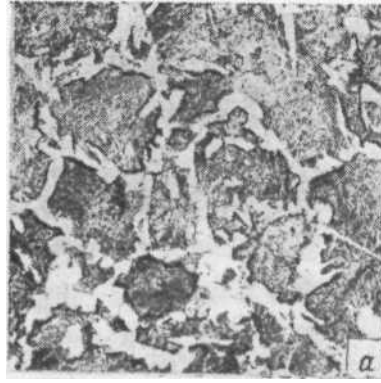


Рисунок 1.2 – Мікроструктура блюмів осьової сталі прокатаних I (а), II (б) і III (в) варіантах режимів обтискань і кантівок. $\times 100$

Отже, і з погляду механічних властивостей сталі необхідно прагнути до збільшення глибини розповсюдження деформації шляхом підвищення обтискання, починаючи з перших проходів, і температури прокатки.

Дослідженнями встановлено також, що при прокатуванні злитків спокійної вуглецевої сталі кількість кантівок без зниження якості поверхні

може бути мінімальною і визначатися умовами отримання потрібних розмірів блюмів. Проте при прокатуванні сталі відповідального призначення, до якої пред'являються підвищені вимоги по макро- і мікроструктурі, пластичним і міцностним властивостям, необхідно пам'ятати, що збільшення обтискання, особливо по вузькій грані (у разі прокатки слябів), і числа кантівок покращує, як було показано вище, структуру і механічні властивості металу.

Режим обтискань при прокатуванні блюмів із злитків киплячої сталі, відлитих і нагрітих без відхилень від технології і що мають відносно здорову поверхню, не впливає на якість поверхні. Більше того, при прокатуванні дефектних злитків з тонкою скориночкою зменшення обтискань, що приводить до збільшення нерівномірності деформації, може різко погіршити якість поверхні блюмів.

1.3 Вплив технологічних параметрів прокатки на формування кінців розкату

Одним з основних показників, що визначають витрату металу в прокатному виробництві, є величина технологічної обрізі, що відбирається в потоці обтискних цехів. Кількість обрізі, що виходить при прокатуванні, залежить як від металургійних чинників виробництва злитків, так і від технології, прийнятої для обтискного стану. При виробництві сортового прокату на цей вид відходів доводиться до 70 % всієї витрати металу від злитка до готового профілю.

Величину технологічної обрізі блюмів і слябів для сталі кожної марки встановлюють дослідним шляхом залежно від макроструктури металу в головній частині злитка і торців розкату.

У роботах [6-14] теоретично обґрунтовано утворення процесу, що обважнює на торцях розкату в стадіях несталого процесу, при заповненні і звільненні осередку деформації, коли перебіг металу якісно відрізняється від деформації в сталому процесі.

У роботах [18, 19] розглянуті можливості зниження тієї, що обважнює торців блюмів за рахунок вдосконалення режимів обтискань. У одних роботах оптимальний режим визначали за наслідками експериментів, а в інших – на підставі теоретичних розрахунків. Проте обидва ці способи не завжди прийнятні для виробничих умов.

Для встановлення кількісних залежностей характер тієї, що обважнює торців розкату при прокатуванні автори досліджували в лабораторних і промислових умовах [6]. При цьому вивчали вплив напрямку і схеми прокатки, розмірів і форми злитка, величини сумарного і одиничного обтискань на формування кінців блюмів. При проведенні лабораторних досліджень процес прокатки на обтисковому стані змодельовали в масштабі 1:10. Матеріалом для зразків служив свинець, прокатки проводили на моделі блюмінга з діаметрами валків 125 мм.

Первинне дослідження впливу напрямку прокатки на форму кінцевих ділянок розкату виконували на лабораторному стані. За основний чинник, що впливає на величину тієї, приймали відношення подовжніх і вертикальних розмірів осередку деформації l_d/H_{cp} . Режими обтискань при заданих величинах l_d/H_{cp} розраховували по формулі

$$\Delta h = H^2(H + R/K^2) \quad (1.27)$$

Достовірність цієї формули очевидна з рівності

$$K = \frac{l_d}{h_{cp}} = \frac{\sqrt{\Delta l \cdot R}}{\sqrt{Hh}}, \quad (1.28)$$

де H , h , h_{cp} – початкова, кінцева і середня висота штаби, мм; R – радіус валка, мм; l_d – довжина осередку деформації, мм.

Дослідний режим обтискань був підібраний таким чином, що відношення

змінювалося в межах від 0,1 до 0,8 і відображало умови прокатки в обтискних цехах.

На рис. 1.3 показане зміна глибини тієї, що обважнює торця від величини чинника форми осередку деформації – при нереверсивному прокатуванні. Криві проходять через дві зони, верхня з яких характеризується такою, що обважнює, а нижня – утворенням опуклості на торці розкату. Найбільш інтенсивна утяжка переднього торця розкату (крива 1) відбувається при величині l_d/H_{cp} в межах 0,2 – 0,35; зона максимальної утяжки заднього торця (крива 2) зрушена управо в область значень $l_d/H_{cp} = 0,25 \div 0,45$, причому величина утяжки тут в три рази більша, ніж на передньому торці.

Останнє свідчить про значний вплив на величину утяжки торців напряму прокатки. Пояснюється це нерівномірністю перебігу металу в зонах відставання і випередження.

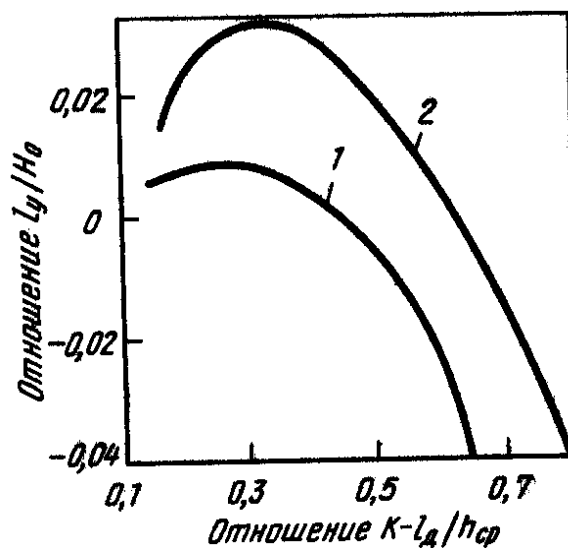


Рисунок 1.3 – Залежність глибини утяжки торця розкату l_y / H_0 від чинника форми осередку деформації $K = l_d / H_{cp}$ (стан 125, зразки свинцеві)

Припинення утяжки і почало утворення опуклості переднього торця і відбувається при $l_d / H_{cp} > 0,46$, а заднього – при $l_d / H_{cp} > 0,63$.

Таким чином, за інших рівних умов із збільшенням величини обтискання

зростання утяжки торців сповільнюється, і чим вища величина обтискання (чим більше значення l_d/H_{cp}), тим раніше почнеться утворення опуклості. Тому застосування високих обтискань в промислових умовах сприяє зменшенню величини утяжки торців, і, отже, зниженню величини технологічної обрізі.

Величину утяжки торців при реверсивному прокатуванні вивчили у виробничих умовах на блюмінгах 1300, 1250 і 1150 комбінату "Криворіжсталь" при прокатуванні злитків масою 8,0 – 12,5 т. у блюми перетином 300 x 300, 340 x 360 і 350 x 350 мм.

При проведенні досліджень були прокатані зливки вуглецевих нелегованих марок сталей; при цьому використані зливки гарячого посаду. Для виключення впливу утяжки торців розкатів температури металу в процесі нагріву в колодязях і прокатки на блюмінгу у всіх експериментах дотримували наступні умови:

зливки однієї плавки розміщували в одному осередку нагрівальних колодязів;

зливки в осередках встановлювали вільно для запобігання нерівномірному нагріву по периметру;

зливки в колодязях нагрівали в строгій відповідності з технологічною інструкцією;

зливки однієї плавки прокатували по різних режимах обтискань.

Видачу з колодязів, транспортування до стану і прокатки злитків здійснювали парами, у валки зливки задавали головною частиною вперед. Під час проведення експерименту досліджували утяжку донної частини, оскільки макроструктура головної частини злитка утрудняє визначення достовірної величини тієї, що обважнює. При прокатуванні дослідних злитків після кожного з чотирьох перших парних проходів (2, 4, 6, 8) другий злиток по рольгангу відправляли в проліт нагрівальних колодязів для охолодження. Перші зливки продовжували прокатувати, а після подальших парних (10 і 12) проходів подавали на ножиці блюмінга, де відрізували задні кінці розкатів. При дослідженні застосовували три режими прокатки: 6I × 4II × 2III × 1IV; 2I × 4I ×

2Ш × 1V; и 4I × 4П × 2Ш × 1V, по кожній схемі прокатали 20 – 30 злитків. Після охолодження недокатов і обрізі заміряли поперечні перетини розкатів і глибину утяжки.

На рис. 1.4 показана величина відносної утяжки l_y/h заднього торця розкату при реверсивному прокатуванні на блюмінгу 1250 восьмитонного злитка по схемі 4I × 4П × 2Ш × 1V.

При прокатуванні на блюмінгу співвідношення між товщиною розкату і завдовжки осередку деформації таке, що в першому проході відношення l_d/H_{cp} складає 0,25 – 0,30. Саме в цей період прокатки у напрямі обтискання утворюється первинний вигин торців розкату. У подальших проходах радіус вигину торця розкату зменшується, кінці кромки подовжуються і після третього – четвертого проходу (при обтисканні в одній площині) згинаються всередину.

Характер утворення утяжки кінців розкатів представлений табл. 12. При значенні $l_d/H_{cp} < 0,5$ - росте найінтенсивніше і загальна протяжність її із збільшенням числа проходів зростає. Проте, як це видно на рис. 1б, зростання тієї утяжки торця розкату має певну закономірність; при значенні $l_d/H_{cp} > 0,5$ інтенсивність його зростання помітно знижується.

На рис. 1.5 представлено зіставлення фактичного зростання утяжки торця розкату по проходах при прокатуванні на блюмінгу 1300 з розрахунковою величиною зміни тієї утяжки залежно від середнього коефіцієнта витяжки штаби. Суцільною лінією показана фактична величина утяжки заднього торця розкату при прокатуванні злитка масою 12,5 т по схемі 6I × 4П × 2Ш × 1V, а пунктирною лінією – розрахункові значення.

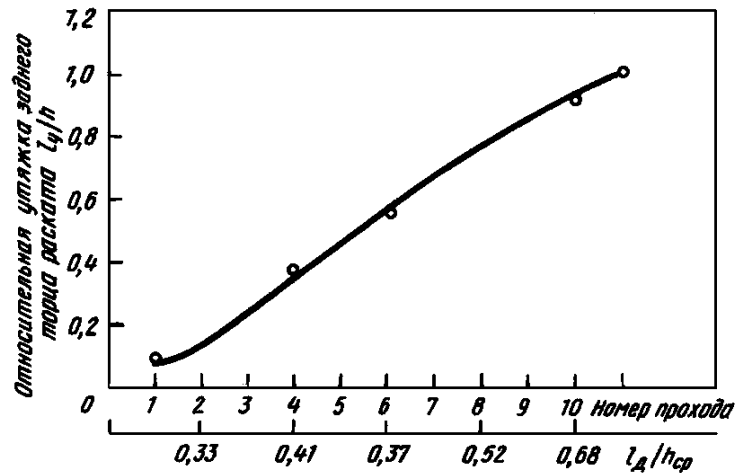


Рисунок 1.4 – Утяжка заднього торця розкату при прокатуванні 8-т злитка на блюмінгу 1250 по схемі 4I × 4II × 2III × 1IV

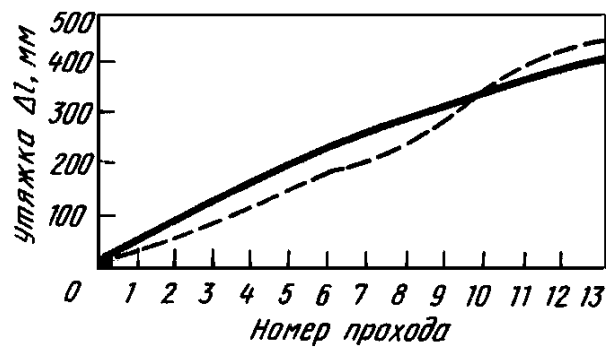


Рисунок 1.5 – Порівняння фактичної утяжки з розрахунковою величиною при прокатуванні 12,5 т злитка на блюмінгу 1300

При побудові розрахункової кривої значення утяжки в кожному проході визначали як твір фактичної величини утяжки торця в попередньому проході і

коефіцієнта витяжки в поточному проході, тобто $l_y = l_{y_{i-1}} \mu_i$.

З графіка виходить, що при реверсивному прокатуванні на блюмінгу 1300 з першого по восьмий проходу, при значенні $l_d/H_{cp} < 0,5$, інтенсивність зростання утяжки торця вище, ніж збільшення довжини її за рахунок середньої витяжки штаби, а після дев'ятого проходу, коли $l_d/H_{cp} > 0,5$ величина розрахункової утяжки торця перевищує її фактичне значення. Таким чином,

процес формування кінцевих ділянок розкату можна розділити на два періоди.

Перший період відповідає лівій частині графіка (див. рис. 1.3) і відповідає умовам прокатки, коли значення $l_d/H_{cp} < 0,5$. Період характеризується такою нерівномірністю деформації металу, при якому вищі витяжки контактних шарів розкату викликають інтенсивне зростання утяжки. Значне збільшення глибини утяжки спостерігається в перших проходах при величині відносного обтискання 9 – 15 %, при цьому протяжність утяжки росте швидше, ніж середня витяжка розкату. Потім інтенсивність зростання утяжки знижується і при значенні $l_d/H_{cp} > 0,5$ її подовження рівне середній витяжці штаби.

Перша зона графіка, що має значення $l_d/H_{cp} > 0,5$, представляє другий період формування торців блюму. Цей період також характеризується нерівномірною деформацією металу, проте при цьому середні шари розкату, набуваючи більших витяжок, ніж поверхневі, прагнуть надати торцю опуклу форму, внаслідок чого розвиток утяжки йде слабкіше, ніж загальне подовження розкату.

Результати обробки експериментальних даних показали, що в кожному подальшому i -том проході глибина вигину торця розкату визначається двома показниками: зростанням за рахунок витяжки штаби в i -том проході і величиною вигину торця в несталій стадії цього проходу залежно від напрямку прокатки і значення чинника l_d/H_{cp} (визначається по графіку). Для першого періоду формування кінцевої ділянки розкату величина утяжки буде рівна

$$l_{y_i} = l_{y_i} \mu_i + CH_{i-1}. \quad (1.29)$$

У другому періоді коефіцієнт, $C = l_y/H_0$ як впливає з рис. 1.5, приймає негативне значення і рівняння (1.29) приймає вигляд

$$l_y = l_{y-1} \mu_i - CH_{i-1}. \quad (1.30)$$

Для порівняння умов формування торцевої утяжки розкатів при реверсивному і односторонньому прокатуванні провели дослідження на лабораторному стані (модель блюмінга 1250). Свинцеві зразки були виконані в масштабі 1:10 до розмірів восьмитонного сортового злитка і мали поперечний перетин 81,5×73,5 мм (815×735 мм на натурі). Зразки обжимали по режимах, відповідних схемах прокатки 4I × 4II × 2III × 1IV и 6I × 4II × 2III × 1IV (табл. 1.1). Прокатані були дві серії зразків по п'ять в кожній. Зразки кожної серії були прокатані по одній з приведених вище схем. Один зразок кожної серії піддавали неревверсивній прокатці. Після кожного проходу заміряли розкати і конфігурацію їх торців.

При прокатуванні в одному напрямі вигин заднього торця після другого проходу в 2 – 2,5 разу більш ніж переднього, а після четвертого проходу – в 2,5 – 3,5 разу, тому при односторонньому прокатуванні високих штаб величину технологічної обрізі в основному визначатиме обважнює заднього торця, яка розвивається інтенсивніше.

При звичайному реверсивному прокатуванні не можна використовувати в значній мірі переваги напрямку прокатки. Це пояснюється тим, що при цьому способі прокатки різниця величин утяжки кінців розкату (по величині обрізі) взаємно знищується при зміні напрямку. Вже після четвертого проходу передній і задній кінці розкату мають однакову форму і рівні розміри. Проте сумарна величина необхідної обрізі передніх і задніх кінців розкатів, прокатаних реверсивним і одностороннім способом, практично рівна.

Встановлено, що найінтенсивніше обтиснення росте при прокатуванні на гладкій бочці при значенні фактора $l_d/H_{cp} = 0,3-5-0,45$, коли величина відносного обтискання складає 15 % і нижче. Величина і форма тієї, що обважнює торців блюмів в основному визначається режимом обтискання. При рівному обтиску злитка по одній і іншій сторонах поперечного перетину торці мають форму конуса. Із збільшенням числа проходів і величини сумарного обтискання довжина цього конуса росте, а кут у його вершини зменшується.

Якщо величини сумарного обтискання по одній і іншій сторонах значно відрізняються, що має місце при прокатуванні блюмів з прямокутних злитків (відношення $B/H > 1$), то форма конуса спотворюється, оскільки протяжність його щодо більшої сторони збільшується. Практично прокатки на блюмінгу здійснюють за непарне число проходів і величина сумарного обтискання по одній із сторін злитка завжди більше. Величину донної обрізі на торці блюма визначає протяжність утяжки, що утворилася при обтискання товщої сторони злитка.

Сумарне обтискання робить визначальний вплив на вигин торців розкату. Ця величина відповідає обтисканню по більшій стороні, включаючи сумарне розширення при деформації іншої сторони. При однаковому сумарному обтисканні глибина утяжки буде різною залежно від того чи прокатаний крупний злиток на блюми великої товщини або одержані заготовки невеликого перетину з дрібного злитка. Тому при дослідженні впливу сумарного обтиску на формування кінців блюмів виражена відносною величиною l_y/h , що враховує кінцеву товщину. На рис. 1.6 показана залежність утяжки торців блюмів від сумарного обтискання по більшій стороні злитка. Залежності відповідають умовам прокатки злитків масою 8, 10, 12,5 т на блюмінгах 1150, 1250, 1300.

Як видно з рис. 1.6, утяжка торців переважно залежить від величини сумарного обтискання. У перших проходах при загальному обтисканні 200 – 250 мм утяжка збільшується трохи. Подальше збільшення обтискання приводить до інтенсивнішого зростання утяжки. У цьому діапазоні істотний вплив здійснює ступень деформації. Після перших двох проходів вплив загального обтискання на утяжку торців розкатів при меншому обтисканні за один прохід значно сильніше, ніж при вищому одиничному обтисканні. Так, при постійному обтисканні 580 мм зменшення обтискання за прохід з 115 до 70 мм викликає збільшення утяжки майже в два рази.

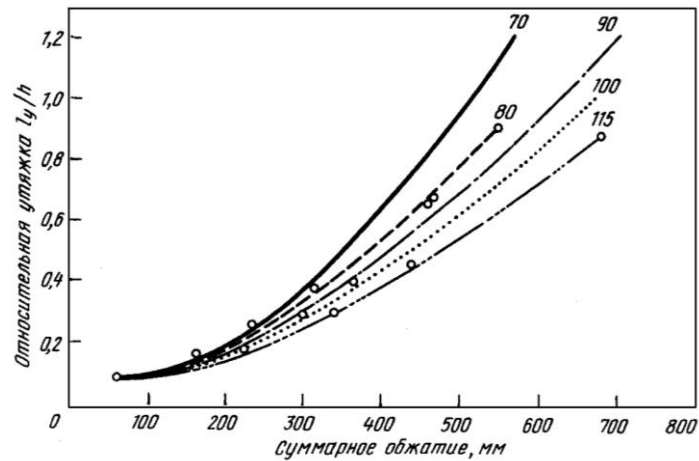


Рисунок 1.6 – Залежність глибини утяжки торців розкату від сумарного обтискання і дробу деформації; цифри у кривих – середнє обтискання за прохід

Вплив величини обтискання за один прохід на утяжку торців блюма при прокатуванні 12,5-т злитка на блюмінгу 1300, з постійним сумарним обтисканням по більшій стороні, показано на рис. 1.7. Точка 1 відповідає середньому одиничному обтисканню 87 мм при прокатуванні по схемі 6 I × 4 II × 2 III × 1 IV, точка 2 – середньому обтисканню за прохід 97 мм по схемі 2I × 4I × 4II × 2III × 1IV і точка 3 – одиничному обтисканню 115 мм при застосуванні схеми 4I × 4II × 2III × 1IV.

На рис.1.8 видно зміна параметрів форми осередку деформації по проходах залежно від вживаних режимів обтискань. Збільшення середнього обтискання за прохід приводить до скорочення загального числа проходів. При цьому особливо важливо для зменшення утяжки скорочення числа проходів на гладкій бочці, де умови деформації характеризуються значенням $l_a/H_{cp} < 0,5$. Так при прокатуванні злитків по схемі 6I × 4II × 2III × 1IV величини утяжки торця готового блюма складає в середньому 430 мм, при застосуванні схеми 2I × 4I × 4II × 2III × 1IV вона знижується до 350 мм, при схемі 4I × 4II × 2III × 1IV – до 300 мм. Характер формування торців блюмів в розглянутих випадках пояснюється умовами деформації злитків.

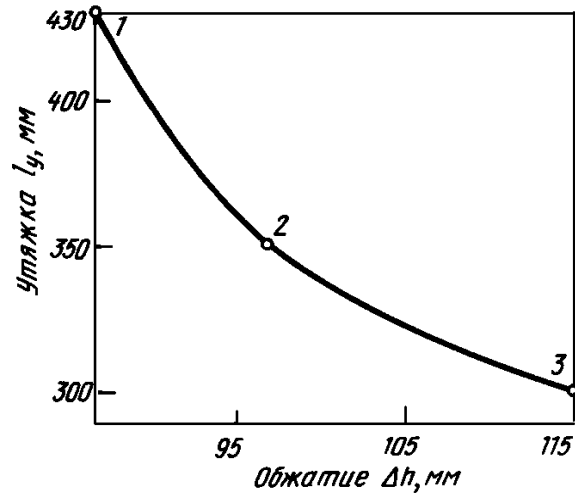


Рисунок 1.7 – Вплив величини обтискання за один прохід на утяжку задніх торців блюмів при прокатуванні на блюмінгу 1300 з постійним сумарним обтисканням

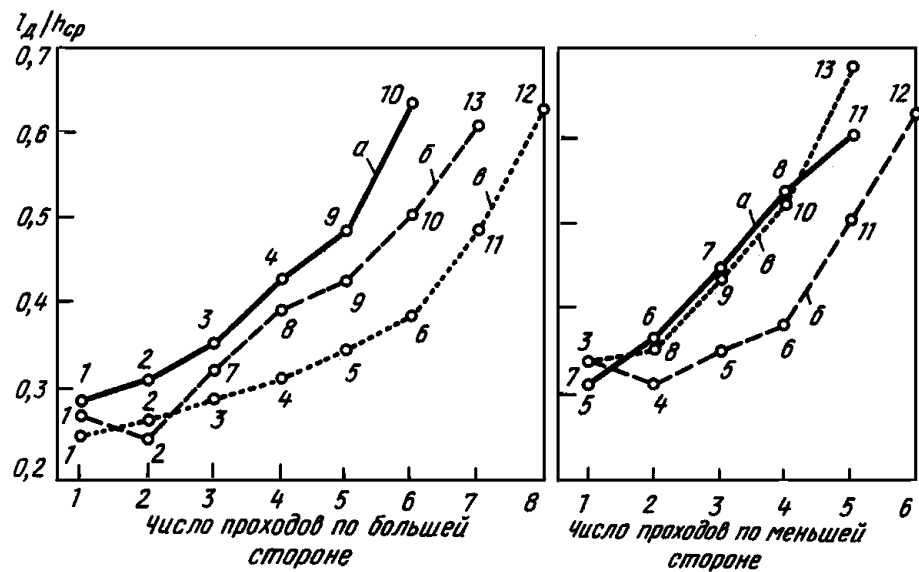


Рисунок 1.8 – Зміна параметрів форми осередку деформації по проходах залежно від режиму обтиснення: а – схема 4I × 4II × 2III × 1IV; б – схема 2I × 4I × 4II × 2III × 1IV; в – схема 6I × 4II × 2III × 1IV

У першому випадку, при середній величині обтискання за прохід 87 мм, широка сторона злитка обтискається за вісім проходів і в шести з них

деформація здійснюється при значенні $l_d/H_{cp} < 0,5$. У другому випадку, при підвищенні одиничного обтискання до 97 мм, загальне число обтискань по широкій стороні скорочується до семи, а при значенні $l_d/H_{cp} < 0,5$ – до п'яти проходів I, нарешті, при збільшенні одиничного обтискання 115 мм, число, проходів, що визначають максимальне зростання утяжки складає всього шість.

Таким чином, величина обтискання за прохід є технологічним параметром прокатки, що визначає як число проходів і схему прокатки, так і величину чинника форми осередку деформації. Істотного впливу хімічного складу вуглецевих сталей на величину деформації торців блюмів не встановлено. Температура кінця прокатки на блюмінгах коливається в інтервалі 70 – 80 °С і не робить значного впливу на утяжку кінців розкатів. Дослідження впливу температури в ширшому діапазоні виконані авторами роботи [20].

Результати експериментів показують, що основними чинниками, що визначають глибину утяжки торців блюмів, є величина сумарного обтискання злитка по більшій стороні і середнє обтискання за прохід.

В умовах діючого блюмінга при постійних розмірах і масі початкового злитка зниження величини технологічної обрізи може бути досягнуте тільки шляхом оптимізації режиму обтискання.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Постановка задачі дослідження

Сучасний блюмінг є потужним обтискним станом. Він призначений для прокатки великих зливків від 7 до 20 т у блюми плоского перетину. Зі блюмів на станах готової продукції одержують лист. Від рівня продуктивності блюмінга залежить забезпеченість прокатних станів напівпродуктом і, отже, обсяг їхнього виробництва.

Одним з головних факторів, що визначають показники роботи блюмінга, є режим прокатки, що включає в себе режим обтиснень і режим швидкостей робочої кліті, причому, що визначає вплив на продуктивність робить в основному режим обтиснень.

Відомо, що збільшення обтиснень приводить до скорочення числа проходів і, отже, до підвищення продуктивності. Значний ефект у цьому напрямку дає скорочення кількості кантувань. Обробка хронометражних даних показала, що на блюмінгах середня тривалість кантування приблизно вдвічі більше машинного часу одного проходу.

Таким чином, ліквідація одного кантування рівносильна скороченню кількості проходів на два.

Однак ні величина обтиснень, ні кількість кантувань не можуть прийматися довільно, тому що вони визначаються цілим рядом факторів. Основними з них є:

1. Умови захвату злитка валками, які обмежують величину припустимого обтиснення по відомому вираженню:

$$\Delta h = D_k(1 - \cos \alpha)$$

2. Умови стійкого процесу прокатки, чим забезпечується відсутність пробуксовок валків і звалювання розкату в процесі прокатки.

3. Потужність привода блюмінга.

4. Міцність деталей робочої кліти (валки, станини, натискні пристрої і ін.)

5. Пластичність металу.

Оцінимо значення кожного фактора при розрахунку режиму обтиснень.

Для перевірки потужності двигуна потрібно визначати не тільки максимальну потужність за прохід (максимальний крутний момент), але і середню квадратичну потужність, що встановлюється за всі проходи, тобто необхідно мати попередній режим обтиснень при прокатці того або іншого злитка.

З іншого боку, міцність валків, як правило, цілком задовольняє умовам режиму обтиснень, при середніх припусках кутів захвату в межах 24-26°.

Таким чином, розрахунок режиму обтиснень раціонально вести по одному з визначальних факторів, а саме по допускаємим кутам захвату. Отриманий попередній режим обтиснень варто коректувати з урахуванням потужності двигуна, міцності валків, забезпечення стійкості штаби в калібрі, одержання необхідних кінцевих розмірів блюма.

Що стосується пластичності металу, то при розрахунку попереднього режиму обтиснень цей фактор ураховується вибором відповідного кута захвату і числа кантувань.

Звідси випливає, що режим обтиснень на блюмінгу пов'язаний з розрахунком різних варіантів, які доцільно проводити на електронній обчислювальній машині.

Завдання розрахунку попереднього режиму обтиснень при прокатці на блюмінгу із застосуванням ЕОМ сформульовані в такий спосіб:

1. Дано розміри злитка $H_0 \times B_0$ (по великому перетині).
2. Дано діаметр валків блюмінга D_0 .
3. Дано марку сталі M , що визначає відповідний кут захвата

- для м'яких сталей $\alpha = 26^\circ = 0,454$ рад;
- для середніх сталей $\alpha = 25^\circ = 0,436$ рад;
- для твердих сталей $\alpha = 24^\circ = 0,419$ рад;

4. Дано розміри блюма, на які необхідно вийти в результаті прокатки $h_n \times b_n$.

Потрібно розрахувати мінімально необхідне число проходів і оптимальний режим обтиснень на блюмінгу, щоб із заданого злитка одержувати блюм необхідних розмірів.

2.2 Методика теоретичних досліджень

Відповідно до методики, викладеної в навчальному посібнику О.П. Чекмарьова, М.С. Мутьєва, Р.А. Машковцева, виробляється розрахунок допоміжних величин:

1. Сумарне обтиснення по одній стороні

$$\sum \Delta h_h = (h_0 - h_n) + 0.15(b_0 - b_n)$$

2. Сумарне обтиснення по іншій стороні

$$\sum \Delta h_b = (b_0 - b_n) + 0.15(h_0 - h_n)$$

3. Середній діаметр, що катає

$$D_{k\text{cp}} = 0.9D_0 - h_{k\text{cp}}$$

4. Середнє обтиснення за прохід

$$\Delta h_{cp} = D_{k\text{cp}}(1 - \cos \alpha)$$

Наступний етап – установлення сумарного числа проходів n .

Для цього визначається число проходів по одній стороні $n_b = \frac{\sum \Delta h_b}{\Delta h_{cp}}$.

Отримані значення n_k і n_b округляються так, щоб сума їх була непарним числом, а різниця числа проходів по однієї й іншій стороні рівнялася 1.

По знайденому числу проходів $n = n_h + n_b$ коректують обтиснення

$$\Delta h_h = \frac{\sum \Delta h_h}{n_h}; \quad \Delta h_b = \frac{\sum \Delta h_b}{n_b}.$$

Отримані обтиснення округляються до числа кратного 5.

Залежно від обчисленого числа проходів і відповідно до марки прокатуємої сталі вибирають схему прокатки, тобто крім числа проходів установлюють також число кантувань.

На основі аналізу всіх можливих кантувань установлені оптимальні кантування відповідно до прокатуємої марки сталі, кутом захвату і числом проходів.

Структурна схема алгоритму

Маючи розроблену вище методику розрахунку режиму обтиснень на блюмінгу, можна перейти до складання структурної схеми алгоритму (рис.2.1). Структурна схема алгоритму починається із блоку уведення вихідних даних. Сюди входять ті величини, які дані в постановці задачі:

$$D_0, \quad h_0 \times b_0, \quad h_n \times b_n, \quad i, \quad \alpha$$

Допоміжні величини: $\sum \Delta h_h$, $\sum \Delta h_b$, h_{kcp} , D_{kcp} , Δh_{cp} , визначаються за допомогою простих алгебраїчних операцій по наведених формулах. Розрахунок по формулах в ЕОМ робить оператор присвоєння. У структурній схемі алгоритму – це блоки 2-6. У блоках 7, 8 за допомогою оператора

присвоєння встановлюється число проходів по кожній зі сторін n_k і n_b . На сумарне число проходів накладаються наступні обмеження:

а) $n = 2k + 1$, тобто при будь-яких значеннях отриманих величин n_k і n_b величина n повинна бути непарної;

б) різниця $n_h - n_b = 1$.

Для визначення сумарного числа проходів n і остаточного встановлення величин n_k і n_b застосований наступний алгоритм.

Отримані в блоках 7 і 8 величини n_k і n_b є раціональними числами, тобто вони можуть бути як цілими, так і дробовими; крім того, у сумі вони можуть давати парне число.

Виходячи із заводського досвіду, уводимо додаткову величину

$$n_c = \frac{n_h + n_b}{2} - \text{блок 9}$$

Потім цю величину округляють у меншу сторону, тобто просто відкидають дробову частину. Отримане число приймають за кількість проходів по одній стороні - блок 10, тоді число проходів по іншій стороні приймають на 1 більше - блок 11.

Математично це положення запишеться так:

$$n_b = E(n_c); \quad n_h = E(n_c + 1)$$

Слід зазначити, що сторона з більшим сумарним обтисненням позначена через h , з меншим сумарним обтисненням – через b .

По отриманому числу проходів коректуємо обтиснення

$$\Delta h_h = \sum \Delta h_h / n_h - \text{блоки 12-20}$$

$$\Delta h_b = \sum \Delta h_b / n_b - \text{блоки 20-23}$$

Наведені система блоків 12-23 відображають алгоритм округлення до числа кратного 5 одержуваних у блоках 12 і 21 величин обтиснення Δh_h й Δh_b . Сумарне число проходів привласнюється величині n у блоці 24 (рис. 2.1).

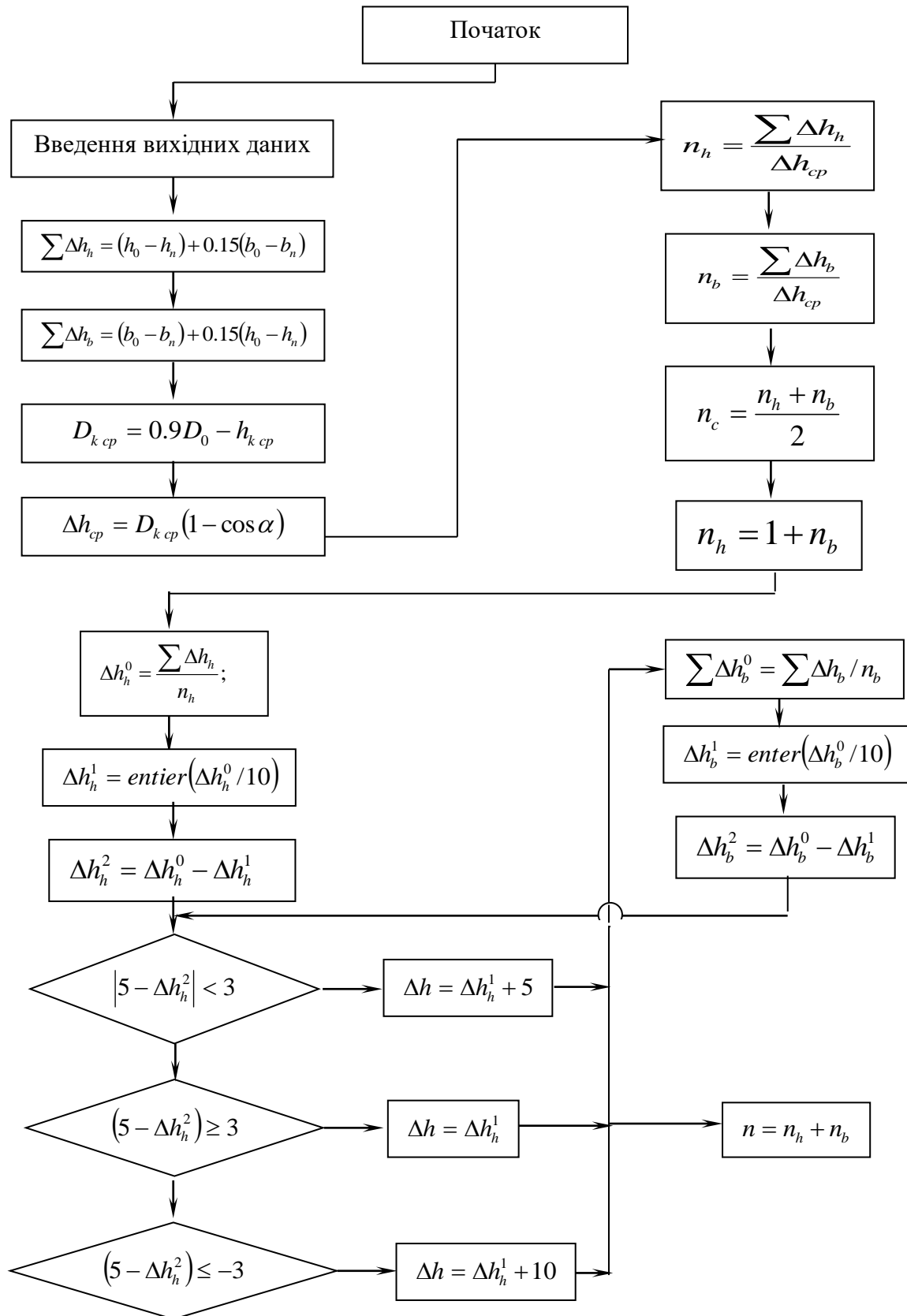


Рисунок 2.1. Блоха-схема визначення мінімального числа проходів

На рис. 2.2 представлено моделюючий алгоритм розрахунку режиму обтисень по проходах відповідно до прийнятої схеми прокатки.

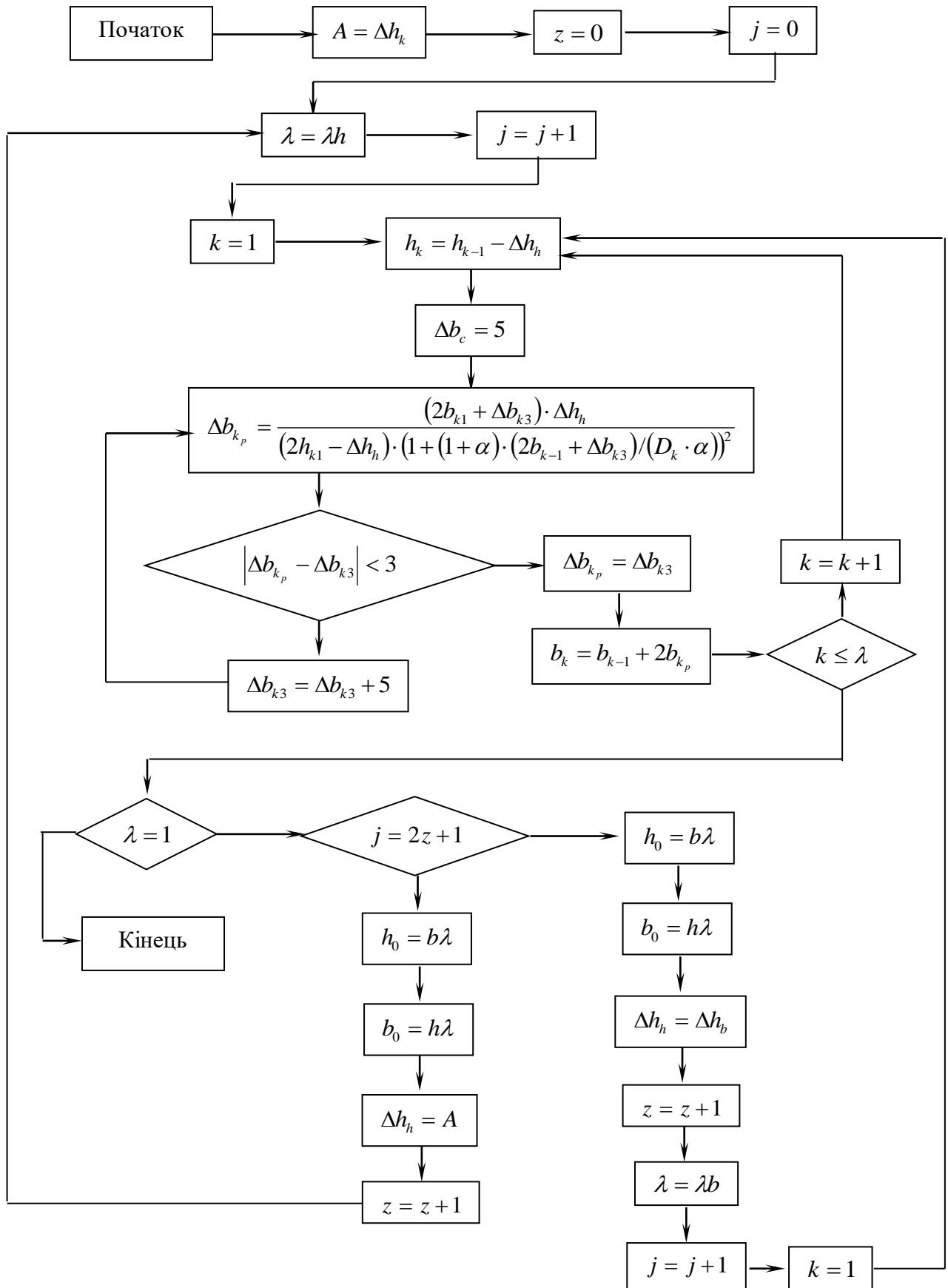


Рисунок 2.2 – Блок-схема розрахунку режимів обтиснення по проходах

Список умовних позначок та ідентифікаторів

Розроблена вище структурна схема розрахунку попереднього режиму обтиснень описана машинною мовою Turbo Pascal.

Список значенневих позначень і ідентифікаторів представлений у табл.

2.1.

Таблиця 2.1 – Список значенневих позначень і ідентифікаторів

Умовна позначка	Ідентифікатори	Значення прийнятих позначень
D_0	D	Номінальний діаметр валків блюмінга
h_0	H0	Висота злитка
b_0	B0	Ширина злитка
h_n	HN	Висота блюма
b_n	BN	Ширина блюма
α	ALF	Кут захоплення
$h_{k\text{ ср}}$	HKC	Середня висота обраного калібру
$\sum \Delta h_h$	SHH	Сумарне обтиснення по стороні h злитка
$\sum \Delta h_b$	SHB	Сумарне обтиснення по стороні b злитка
$D_{k\text{ ср}}$	DKC	Середній діаметр, що катає, валків
$\Delta h_{\text{ср}}$	DHC	Середнє обтиснення за прохід
n_h	NH	Число проходів по стороні h
n_b	NB	Число проходів по стороні b
n	N	Сумарне число проходів
Δh_h	DHH	Рівномірне обтиснення для сторони h
h_i	H[I]	Висота розкату по проходах
b_i	B[I]	Ширина розкату по проходах
Δb_{3i}	DB3[I]	Величина розширення, що задає
Δb_{pi}	DBP[I]	Розширення по формулі О. П. Чекмарьова
Δh_{3i}	DH3[I]	Розширення, що задає, якщо обтиснення по стороні h
Δh_{pi}	DHP[I]	Розширення, якщо обтиснення по стороні h
Δh_b	DHB	Рівномірне обтиснення для сторони b

Інші ідентифікатори відіграють допоміжну роль.

Ідентифікатори	Значення прийнятих позначень
A1, A2, M1, M2	Забезпечують роботу алгоритму
I, K, TK, J, V	Забезпечують у програмі роботу оператора циклу
ALF1	Ціле число, що відповідає $\alpha \cdot 10^3$
DHH0, DHH1, DHH2	Забезпечують роботу алгоритму округлення величини обтиснення з необхідною практикою точністю
DHB0, DHB1, DHB2	
A, C	Дозволяють здійснювати присвоєння
P	Дійсне число, що бере участь у формуванні масиву АЖ
АЖ	Масив, що забезпечує вивід на печать режимів обтиснень

Програма розрахунку режимів обтиснень при прокатці на блюмінгу

Програма визначення мінімального числа проходів

```

Program Pr-1;
  Var D, B0, BN, H0, HN, A1, A2, N, K, J, ЛЯМ, ТК, V,
      ALF1: integer;
      DHH1, DHB1: integer;
      ALF, HKC, SHH, SHB, DKC, DHC, NH, NB, M1, M2, DHH,
      DHB, A, C, E, F: real;
      DHH0, DHB0, DHH2, DHB2: real;
      I: integer;
      P: real;
      H, B10, 6J, DB3, DBP, DH3, DHP: array;

Begin
  Procedure R3(ЛЯМ): Value ЛЯМ; Integer ЛЯМ;
Begin Array АЖ[0:ЛЯМ,1:3];
  АЖ[0,1]:=H[0]; АЖ[0,2]:=B[0]; АЖ[0,3]:=0;
  P:=1; J:=1;
  For I:=1 step 1 until ЛЯМ do
Begin АЖ[I,1]:=H[I]; АЖ[I,2]:=B[I];
  АЖ[I,3]:=DBP[I]
End;
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=7H=35B=34DBP');
  P0165(1,'=128');
  For I:=0 step 1 until ЛЯМ do
Begin P0165(1,'=128');
  P0740(АЖ[I,J],P,0,3,8,2,32,2,33,2);
  P0165(1,'=128');
End;
End;
  Procedure R;
Begin ЛЯМ:=V; J:=J+1;
  For K:=1 step 1 until ЛЯМ do
Begin H[K]:=H[K-1]-DHH; DB3[K]:=5;
  DBP[K]:=(2*B[K-1]+DB3[K]*DHH/((2*H[K-1]-
  DHH)*(1+((1+ALF)*((2*B[K-1]+DB3[K])/(DKC*ALF))*2)))));
  E:=ABS(DBP[K]-DB3[K]);
  If E<3 then
Begin DBP[K]:=DB3[K]; B[K]:=B[K-1]*DBP[K]
End else
Begin DB3[K]:=DB3[K]+5;
  Go to L2
End
End;
  If J≠1 then P0165(1,'=4ОКАНТОВКА');
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=35=18');
  R3(V);
  If V=1 then go to T;
  If J=10RJ=30RJ=50RJ=70RJ=9 then

```

```

Begin H[0]:=B[ЛЯМ]; B[0]:=H[ЛЯМ]; DHH:=DHB;
  P1041(DHH)
End else
      If J=20RJ=40RJ=60RJ=8 then
Begin H[0]:=B[ЛЯМ]; B[0]:=H[ЛЯМ]; DHH:=A;
  P1041(DHH)
End;
End;
  Procedure R1;
Begin ЛЯМ:=V; J:=J+1;
  For K:=1 step 1 until ЛЯМ do
Begin B[K]:=B[K-1]-DHB; DH3[K]:=3;
  DHP[K]:=(2*H[K-1]+DH3[K]*DHB/((2*B[K-1]-
  DHB)*(1+((1+ALF)*((2*H[K-1]+DH3[K])/(DKC*ALF))*2)))));
  F:=ABS(DHP[K]-DH3[K]);
  If F<3 then
Begin DHP[K]:=DH3[K]; H[K]:=H[K-1]*DHP[K]
End else
Begin DH3[K]:=DH3[K]+5;
  Go to P2
End;
  DBP[K]:=DHP[K];
End;
      If J≠1 then P0165(1,'=4ОКАНТОВКА');
      P0165(1,'=128');
      P0165(1,'=35=18');
      R3(V);
      If V=1 then go to T;
      If J=10RJ=30RJ=50RJ=70RJ=9 then
Begin H[0]:=B[ЛЯМ]; B[0]:=H[ЛЯМ]; DHB:=DHH;
  P1041(DHB)
End else
      If J=20RJ=40RJ=60RJ=8 then
Begin H[0]:=B[ЛЯМ]; B[0]:=H[ЛЯМ]; DHB:=C;
  P1041(DHB)
End;
End;
  Procedure R2;
Begin DHH0:=SHH/NH; DHH1:=entier(DHH0/10)*10;
  DHH2:=DHH0-DHH1;
  If ABS(5-DHH2)<3 then:=DHH1+5;
  If (5-DHH2)>3 then DHH:=DHH1;
  If (DHH2-5)>3 then DHH:=DHH1+10;
  DHB0:=SHB/NB; DHB1:=entier(DHB0/10)*10;
  DHB2:=DHB0-DHB1;
  If ABS(5-DHB2)<3 then:=DHB1+5;
  If (5-DHB2)>3 then DHB:=DHB1;
  If (DHB2-5)>3 then DHB:=DHB1+10;
  A:=DHH; C:=DHB;
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=6N=35DHH=32DHB');
  P0165(1,'=128');
  P1041(N,DHH,DHB);

```

```

End;
      For TK:=1 step 1 until 10 do
Begin P0042(0,B0,BN,H0,HN,ALF,HKC,ALF1);
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=30ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ');
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=60=17H0=17B0=17BN=17ALF=17HKC');
  P0165(1,'=128');
  P1041(D,H0,B0,HN,BN,ALF,NHC);
  B[0]; B0; H[0]; H0; J:=0; ЛЯМ:=0;
  SHH:=H0-NH+0.15*(B0-BN);
  SHB:=B0-BN+0.15*(H0-HN); DKC:=0.9*D-HKC;
  DHC:=DKC*(1-cos(ALF)); NH:=SHH/DHC;
  NB:=SHB/DHC;
  P0165(1,'=128');
  P0165(1,'=6SHH=16SHB=16DKC=16DHC=16NH=17NB');
  P0165(1,'=128');
  P1041(SHH,SHB,DKC,DHC,NH,NB);
  A1:=entier(NH-0.5); A2:=entier(NB-0.5);
      If A1<A2 then
Begin NH:=A1;
      If NB<A1 then NB:=A1-1 else NB:=A1-1;
      Go to L
End flot
      If A1=A2 then
Begin if A1<A2 then NH:=A1 else NH:=A2;
  NB:=SNH-1;
  Go to L
End else
      If A2<A1 then
Begin NB:=A2;
      If NH<A2 then NH:=A2-1 else NH:=A2+1;
      Go to L
End;
  N:=NH+NB;
End;
End.

```

2.3 Етапи математичного 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 напрямку 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 (рис. 2.3). У нім відображаються все раніше створені бази даних (1), вікно балки (2), меню препроцесор (3), процесор (вирішувач) (4), постпроцесор (5).

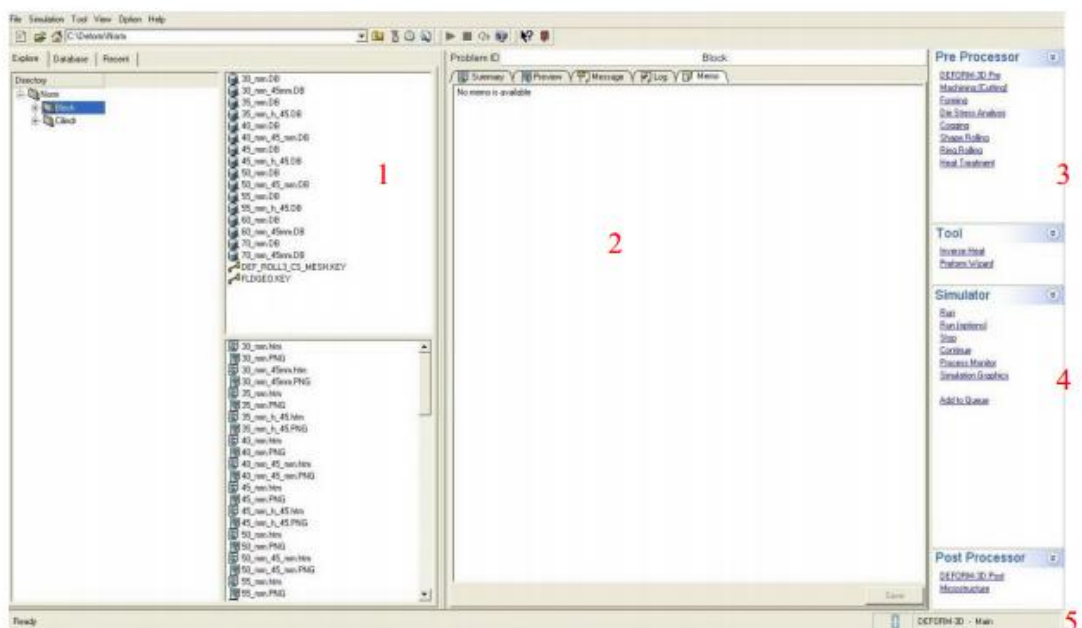


Рисунок 2.3 - Головне вікно Deform

У меню 3 вибираємо завдання, яке збираємося вирішувати, в нашому випадку це Shape Rolling. Завданню необхідно присвоїти ім'я, в нашому випадку - Roll (рис. 2.4).

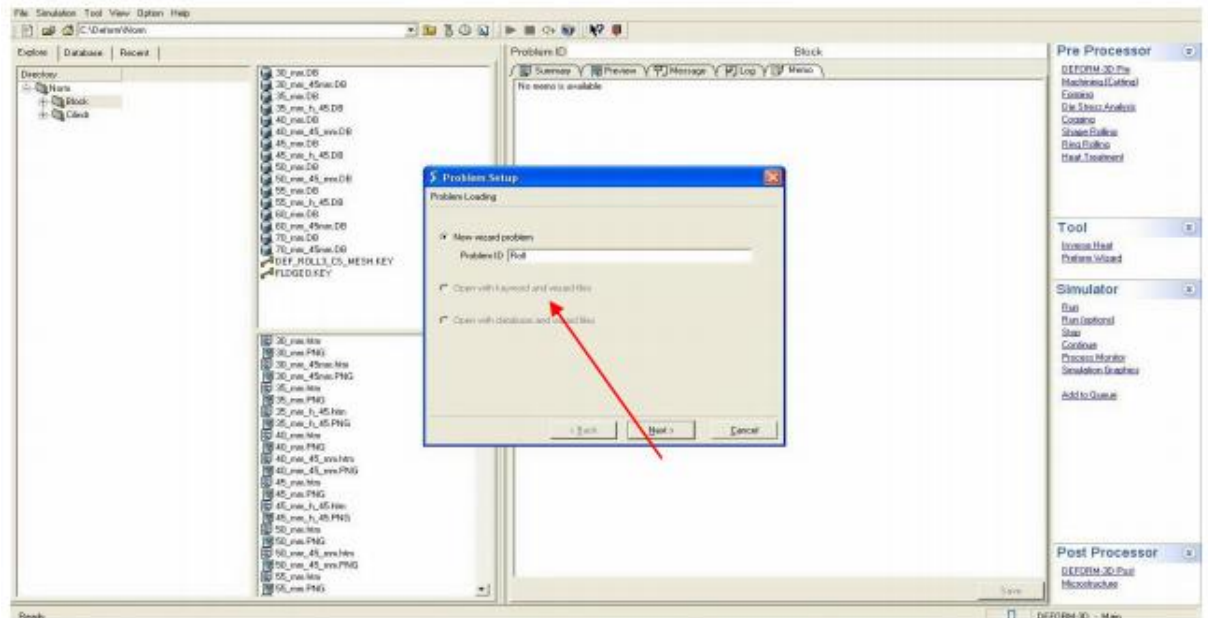


Рисунок 2.4 - Створення і привласнення імені новому завданню

Присвоївши ім'я, натискаємо кнопку Next, відкриється меню препроцесора для нашого завдання (рис. 2.5).

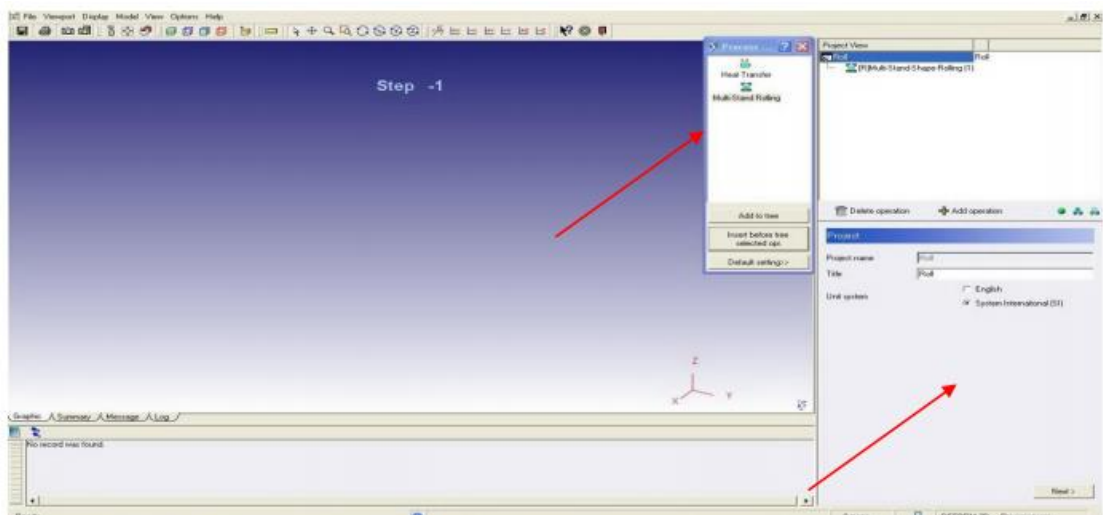


Рисунок 2.5 - Меню препроцесора

У меню, що з'явилося, вибираємо Milti - Stand Rolling. Пам'ятаємо про одиниці виміру (нам потрібна система СІ). Натискаємо Next. Далі з'явиться меню розрахунку температури (рис. 2.6).

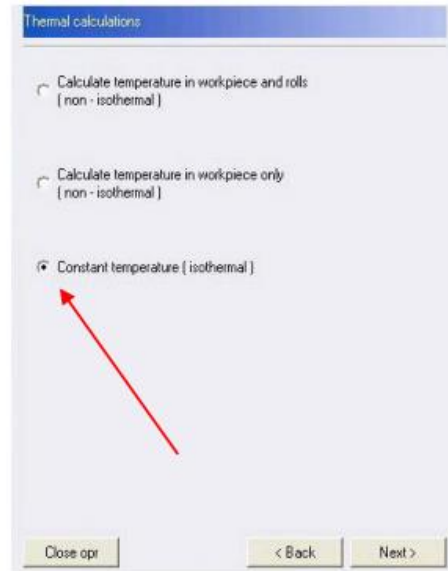


Рисунок 2.6 - Меню розрахунку температури

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

Для прискорення розрахунків вибираємо чверть (рис. 2.7).

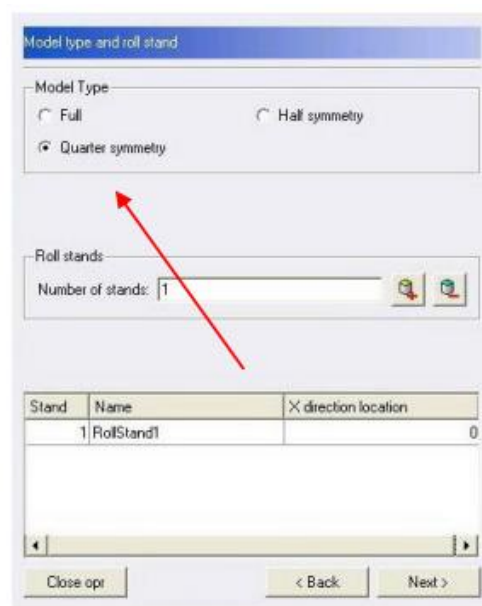


Рисунок 2.7 - Вибір моделі заготівлі

Наступний пункт - визначення геометрії для валка: радіус, скруглення, ширина і проміжок (рис. 2.8).

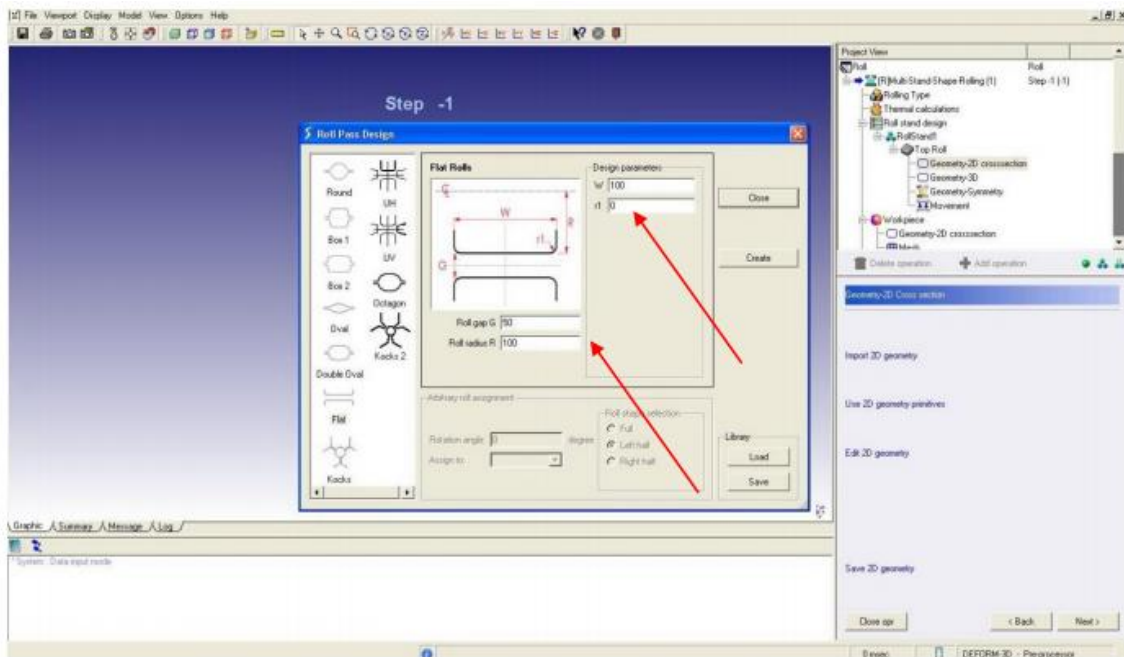


Рисунок 2.6 - Визначення геометрії валка

Валок вибираємо циліндричної форми і натискаємо Next. З'являється контур валка (рис. 2.9), який шляхом обертання навколо своєї дасть нам 3d модель (рис. 2.10).

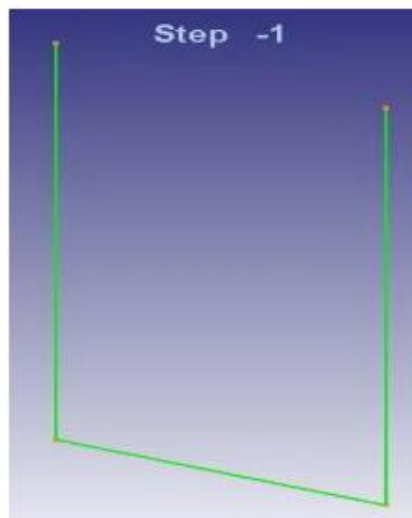


Рисунок 2.9 - Контур валка

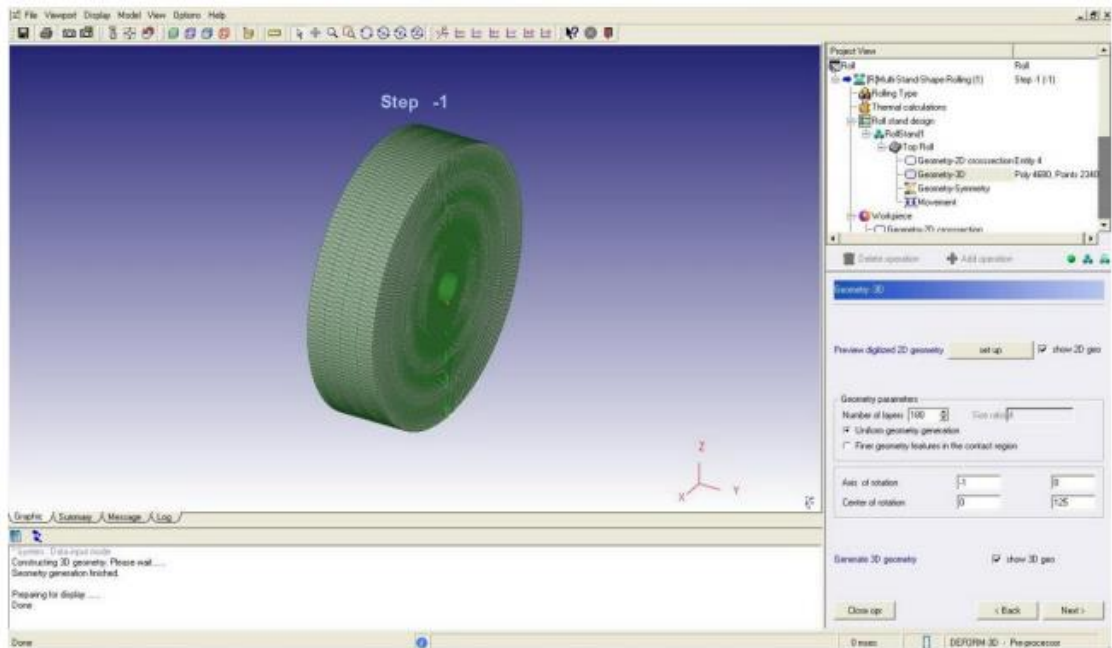


Рисунок 2.10 - 3d модель валка

Далі задаємо круговий рух валка (рис. 2.11).

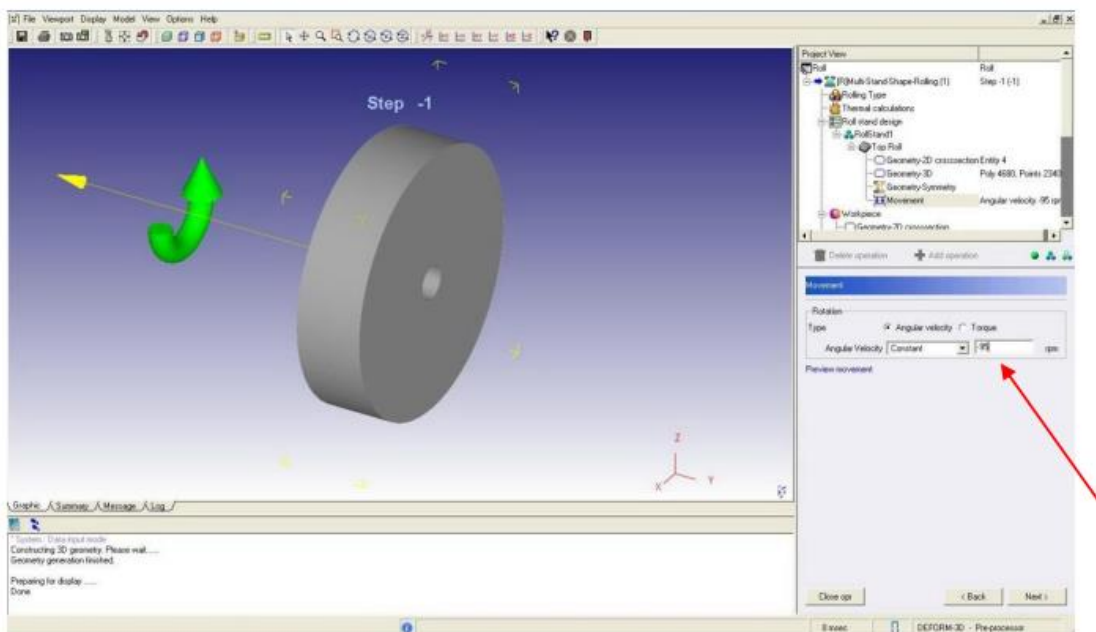


Рисунок 2.11 - Завдання кругового руху валка

У наступному меню задається довжина і температура заготівлі (рис. 2.12).

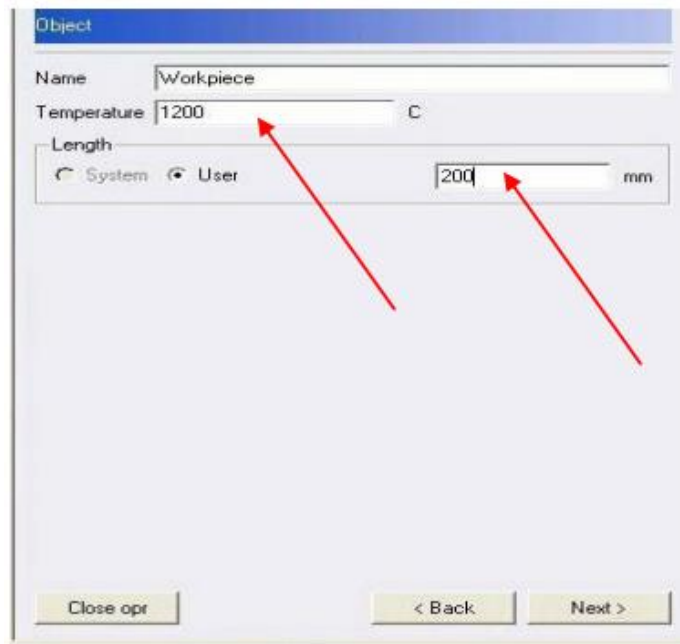


Рисунок 2.12 - Задається довжина і температура заготівлі

Далі потрібно визначити геометрію заготівлі, за умовчанням є 2 типи паралелепіпед (рис. 2.13) і циліндр (рис. 2.14). Введення розмірів просте і зрозуміле.

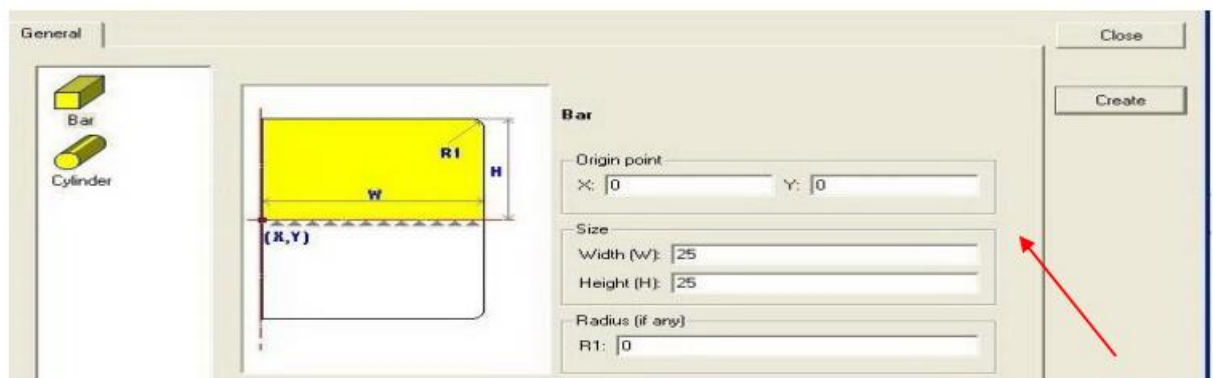


Рисунок 2.13 - Завдання розмірів для паралелепіпеда

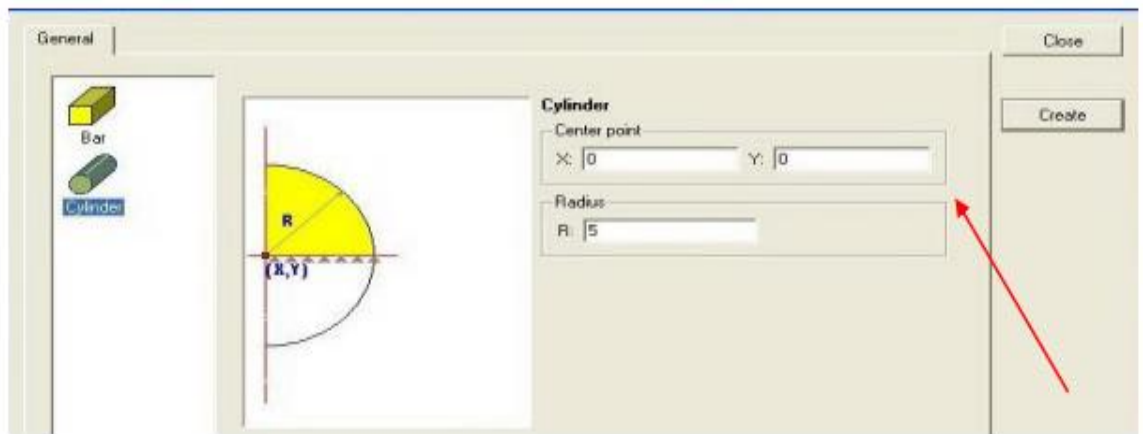


Рисунок 2.14 - Завдання розмірів для циліндра

За допомогою програми SolidWorks можна створювати будь-яку геометрію і імпортувати їх. Після визначення геометрії з'явиться контур заготівлі (рис.2.15).

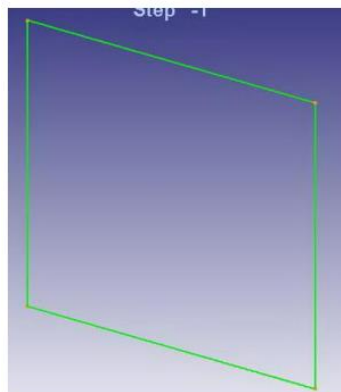


Рисунок 2.15 - Контур заготівлі

По заданому контуру буде побудована 3d модель і згенерована сітка (рис. 2.16).

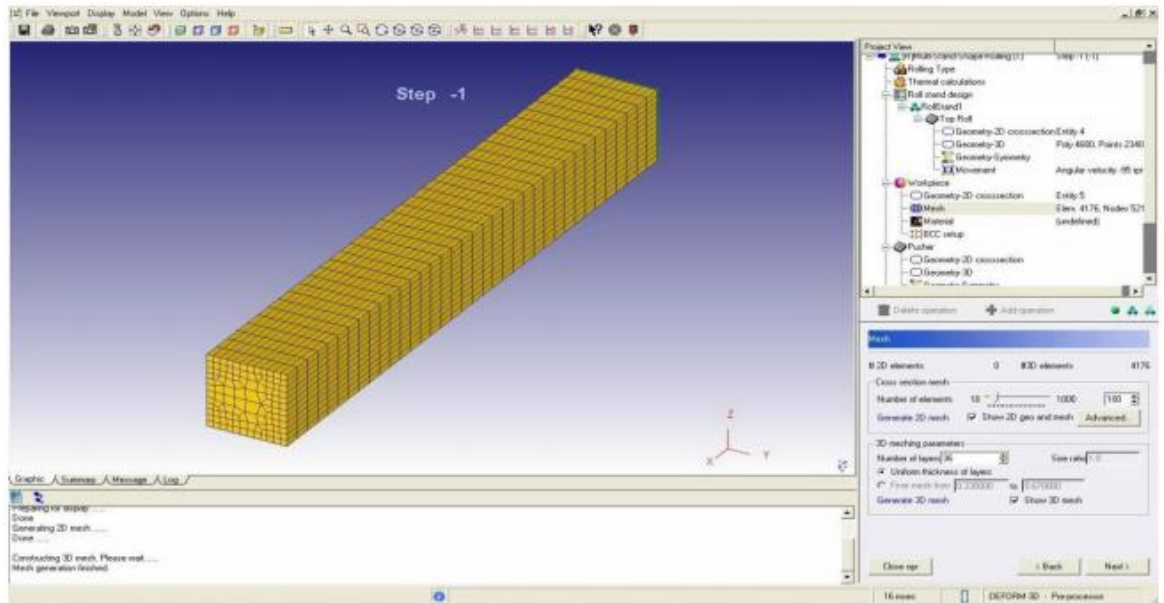


Рисунок 2.16 - 3d модель заготівлі з побудованою сіткою

Далі визначуваний матеріал заготівлі (рис. 2.17).

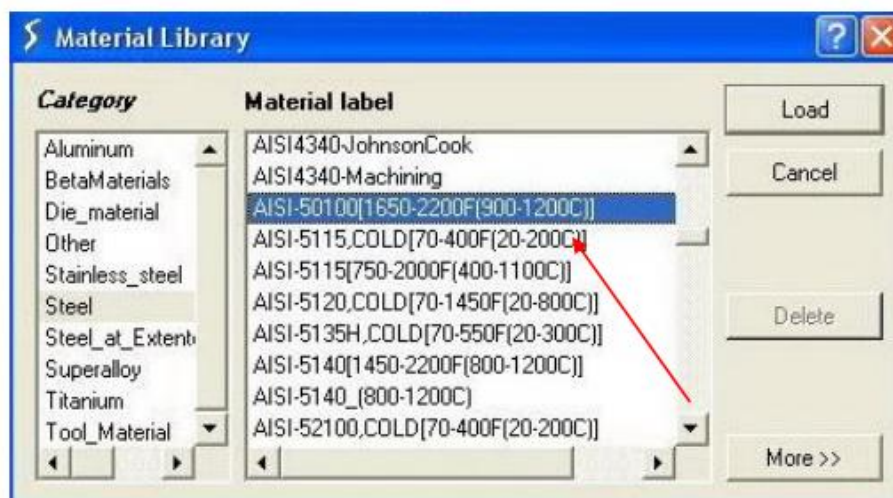


Рисунок 2.17 - Визначення матеріалу заготівлі

Останній етап - це вибір кількості кроків (рис. 2.18).

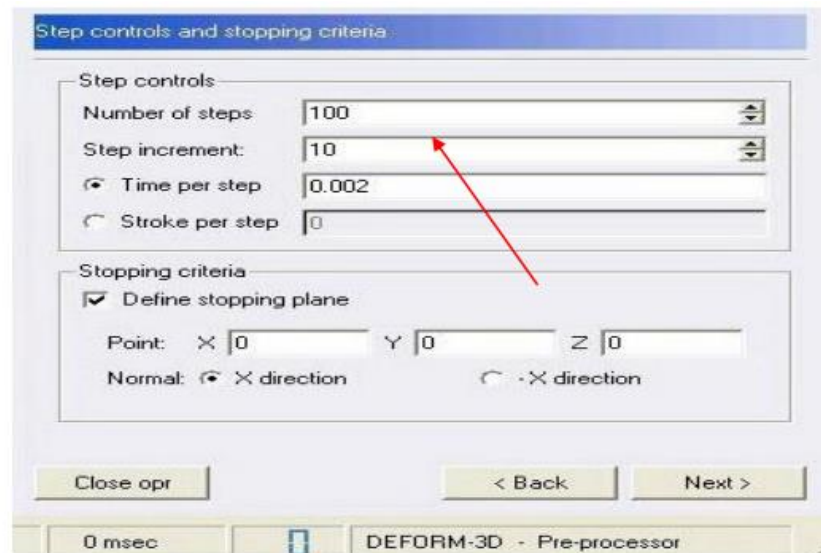


Рисунок 2.19 - Меню введення кількості кроків

Проект готовий, залишилося тільки натиснути кнопку Generate DataBase (рис. 2.20).

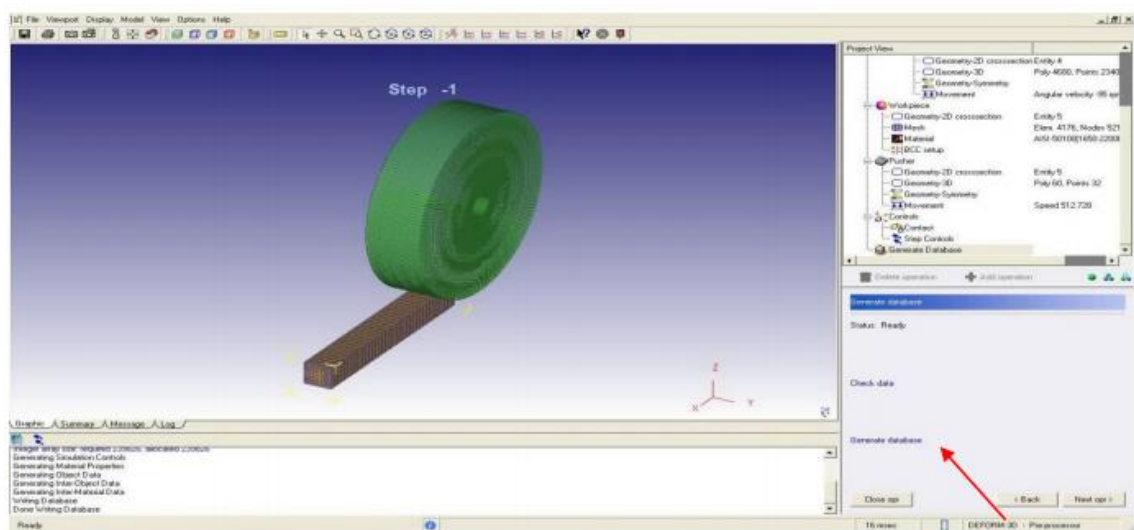


Рисунок 2.19 - Готовий проект і створення бази даних

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 вистачаючи дані.

По-перше, задамо властивості течії металу. Для завдання властивостей вибираємо потрібне нам рівняння течії металу і вводимо константи (рис. 2.20).

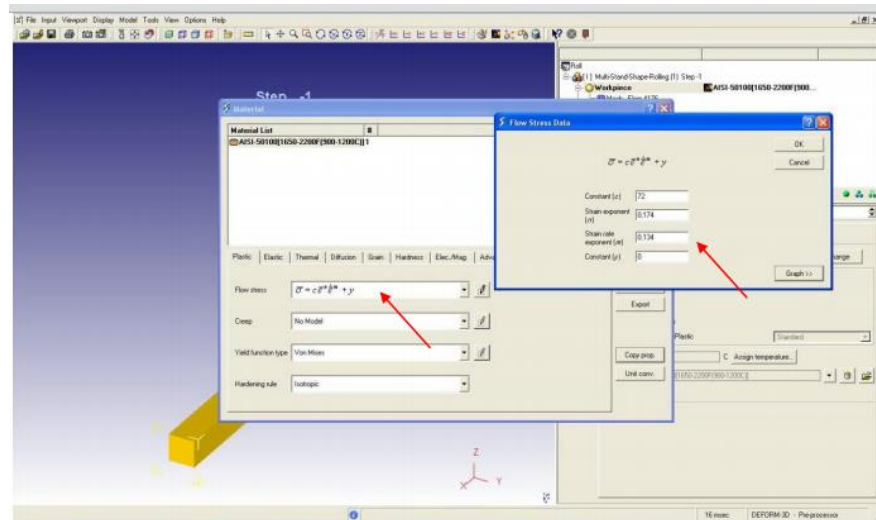


Рисунок 2.20 - Завдання властивостей течії металу

По-друге, задамо тертя між заготівлею і валком (рис. 2.21).

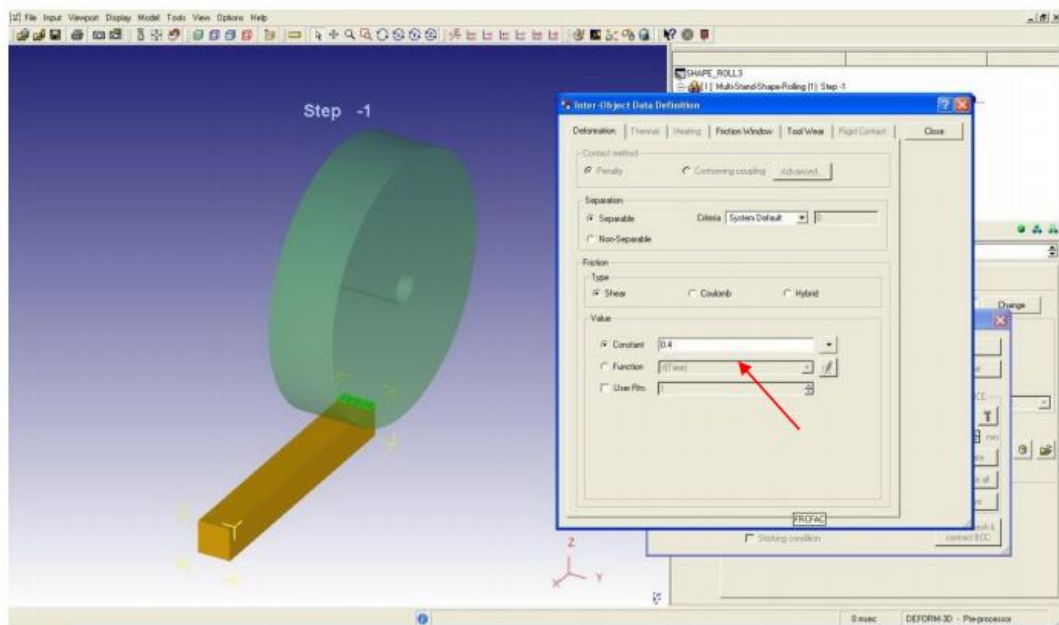


Рисунок 2.21 - Завдання тертя між валком і заготівлею

Ще раз зберігаємо базу даних. На цьому етапі 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 (рис. 2.22).

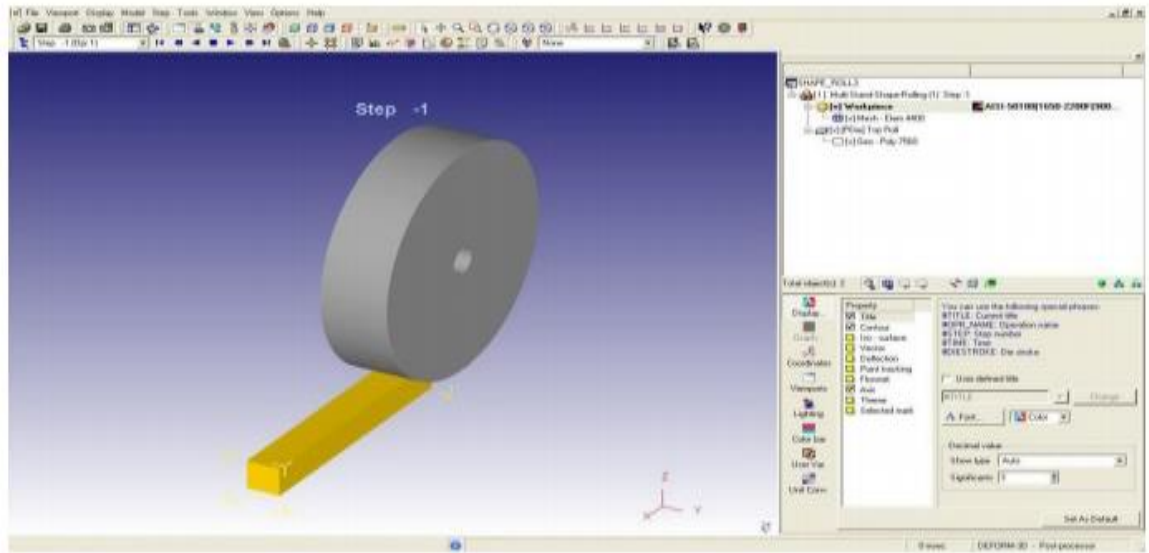


Рисунок 2.22 - Головне вікно постпроцесора

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

3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз даних отриманих в ході математичного моделювання

Результатами математичного моделювання є зміна гідростатичної напруги, розподіл нормальних і дотичних напруг, а також деформацій розтягання й зсуву по всьому об'єму заготовки. За цими даними виконується розрахунки інтенсивності деформацій і нормальних напруг осьової й кутової зони, центру бічних і контактних граней - точки 1-4 (див. рис. 3.1). Виходячи зі значень інтенсивності деформацій, отриманих у відносних одиницях, робився розрахунки ступеня деформації зсуву й ступінь використання запасу пластичності.

У цілому, аналіз отриманих результатів показав на їхню якісну відповідність результатам цілого ряду інших досліджень [14–16], а статистичні оцінки ступені відповідності співвідношень регресійних і чисельних значень, представлені в табл. 3.1 свідчать про достатній ступінь достовірності отриманих регресійних аналітичних описів. Відзначене свідчить про можливість їх подальшого використання з урахуванням відповідних декодувань: для семифакторного експерименту – $x_1 = \varepsilon$; $x_2 = h_0/D$; $x_3 = b_0/h_0$; $x_4 = b_0/l$; $x_5 = \beta/10$; $x_6 = \Delta f_k/b_0$; $x_7 = \Delta f_6/h_0$, для одинадцятифакторного експерименту – $x_1 = \varepsilon$; $x_2 = h_0/D$; $x_3 = b_0/h_0$; $x_4 = (B_k - B_d)/h_0$; $x_5 = (B_0 - B_d)/h_0$; $x_6 = 2h_{вр}/h_0$; $x_7 = F/h_0$; $x_8 = r_d/h_0$; $x_9 = \Delta f_6/h_0$; $x_{10} = \Delta f_6/h_0$; $x_{11} = R/h_0$ (див. додаток, табл. 1) стосовно до розв'язання в реальному масштабі часу багатоваріантних завдань, пов'язаних з удосконалюванням і автоматизованим проектуванням технологій і встаткування процесу прокатки на обтискних станах.

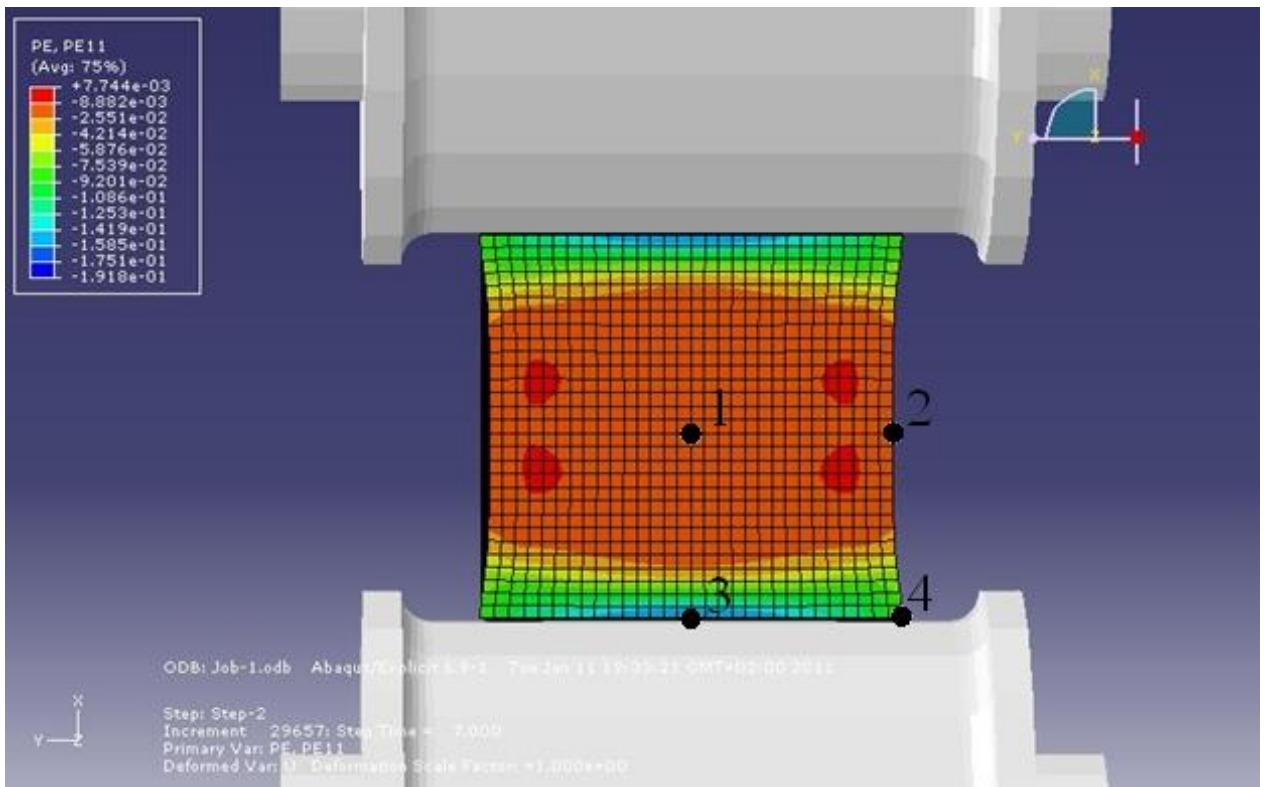
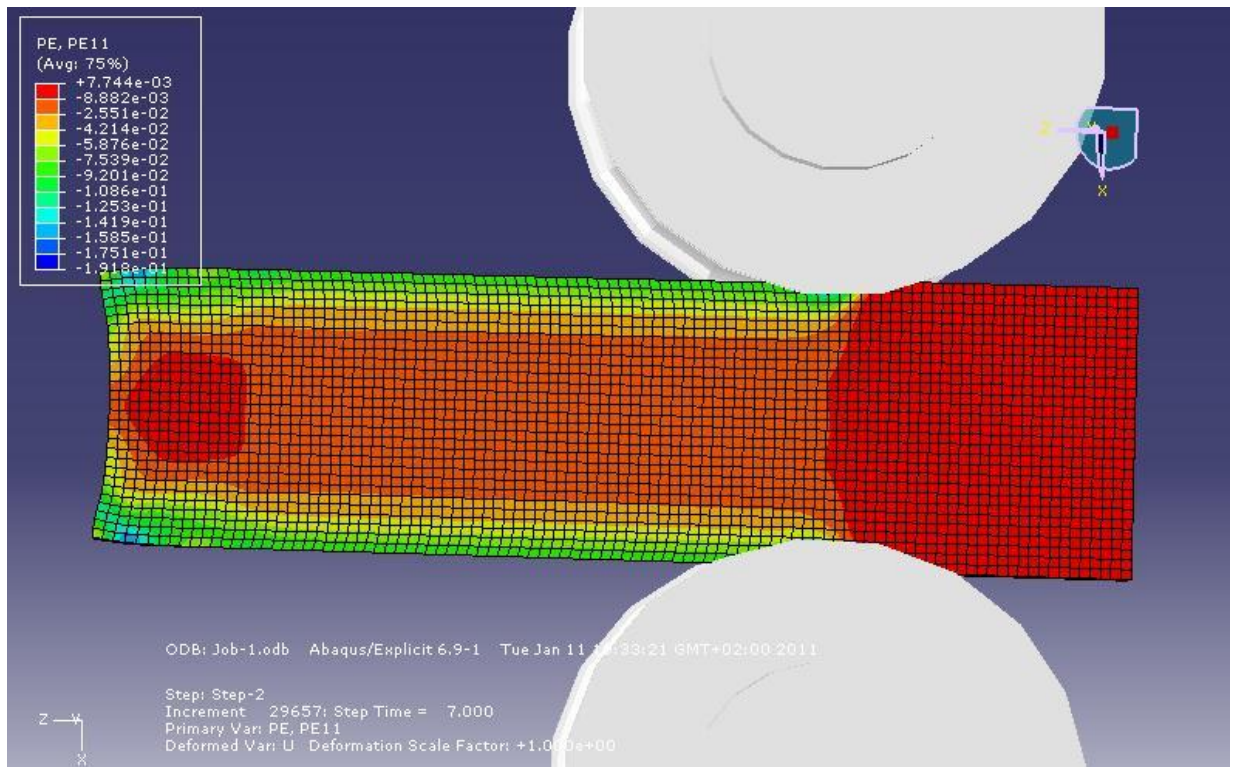


Рисунок 3.1 - Розрахунковий розподіл лінійної деформації ϵ_x при прокатці відносно товстих заготовок: $h_0 = 520\text{мм}$; $h_1 = 470\text{мм}$; $R = 450\text{мм}$; $f = 0,35$; $t = 1150^\circ\text{C}$; сталь 12X18H10T

Таблиця 3.1 - Результати статистичної обробки даних, отриманих за регресійними залежностями

Y	\bar{Y}_c	S_y^2	S_y	y_{\min}	y_{\max}
$\Lambda_{O \text{ пер}} / \Lambda_{O \text{ МКЭ}}$	0,9754	0,00247	0,049699	0,9565	0,9956
$\Lambda_{B \text{ пер}} / \Lambda_{O \text{ МКЭ}}$	0,9796	0,00233	0,04827	0,9601	0,9980
$\Lambda_{K \text{ пер}} / \Lambda_{O \text{ МКЭ}}$	0,9931	0,00213	0,046152	0,9653	1,0013
$\Lambda_{Y \text{ пер}} / \Lambda_{O \text{ МКЭ}}$	0,9885	0,00196	0,044272	0,9697	1,0042
$\Lambda'_{O \text{ пер}} / \Lambda'_{O \text{ МКЭ}}$	1,0009	0,00128	0,035777	0,9872	1,0156
$\Lambda'_{B \text{ пер}} / \Lambda'_{B \text{ МКЭ}}$	0,9975	0,00145	0,038079	0,9828	1,0127
$\Lambda'_{K \text{ пер}} / \Lambda'_{K \text{ МКЭ}}$	0,9943	0,00162	0,040249	0,9784	1,0099
$\Lambda'_{Y \text{ пер}} / \Lambda'_{Y \text{ МКЭ}}$	0,9893	0,00179	0,042308	0,9740	1,0070

Виходячи із цього, представляється можливим визначення ступеня запасу пластичності, як функції від геометричних факторів осередку деформації й температури, де межу пластичності будемо визначати по (2.1). Визначимо коефіцієнт жорсткості схеми напруженого стану по наступних регресійними залежностям [17, 18]:

$$K_B = -0,84 + 1,314 \cdot x_2 - 0,479 \cdot x_3 + 1,117 \cdot x_4 \quad (3.1)$$

$$K_Y = 1,56 - 0,378 \cdot x_2 - 0,571 \cdot x_3 + 1,333 \cdot x_4 \quad (3.2)$$

$$K_K = 0,55 + 1,023 \cdot x_4 + 0,028 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,381 \cdot x_2^2 \quad (3.3)$$

$$K_O = 0,8 + 0,072 \cdot x_2 - 0,032 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,125 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,13 \cdot x_3^2 \quad (3.4)$$

$$K_{B'} = -0,499 + 0,807 \cdot x_2 - 0,294 \cdot x_3 + 0,686 \cdot x_4 \quad (3.5)$$

$$K_{Y'} = 1,11 - 0,288 \cdot x_2 - 0,257 \cdot x_3 + 0,73 \cdot x_4 \quad (3.6)$$

$$K_{K'} = 0,39 + 0,694 \cdot x_4 + 0,019 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,258 \cdot x_2^2 \quad (3.7)$$

$$K_{O'} = 0,56 + 0,05 \cdot x_2 - 0,022 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,086 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,09 \cdot x_3^2 \quad (3.8)$$

де K_O , K_y , K_B , K_K – коефіцієнти жорсткості схеми напруженого стану при прокатці на гладкій бочці осьової й кутової зони заготовки, центру бічних і контактних граней відповідно;

K_O' , K_y' , K_B' , K_K' – коефіцієнти жорсткості схеми напруженого стану при прокатці в калібрах осьової й кутової зони заготовки, центру бічних і контактних граней відповідно;

$x_1 = D/h_1$ – наведений діаметр валків;

$x_2 = h_0/h_1$ – коефіцієнт обтиснення;

$x_3 = h_0/b_0$ – вихідне відношення осей заготовки;

$x_4 = (B_K - B_D)/h_0$ – випуск калібру.

3.2 Закономірності зміни ступеню використання запасу пластичності осьової зони прокатуємих відносно товстих заготовок при варіюванні геометричних факторів осередку деформації

При аналізі закономірностей зміни ступені використання запасу пластичності в об'ємі розкатів залежно від геометричних факторів, що характеризують осередок деформації, необхідно розглянути величину Ψ в різних зонах металу, що прокатується.

У цьому випадку оцінка зміни ступеню використання запасу пластичності осьової зони розкату (Ψ_O) для досліджуваних умов прокатки поряд з показником Λ_O може бути використана з метою оцінки якості його внутрішніх шарів, а сукупність величин ступеню використання запасу пластичності в області центру бічної грані розкату, центру його контактної поверхні й кутової зони (відповідно Ψ_B , Ψ_K , Ψ_y) характеризує ймовірність порушення суцільності поверхневих шарів металу.

Отримане, що при варіюванні температурою прокатки в інтервалі від 950°C до 1200°C Ψ_O монотонно зменшується в 2,5...1,6 рази (рис. 3.2). Таке

зменшення визначається відповідним підвищенням рівня граничної пластичності металу.

Збільшення відносного обтиснення до 20% обумовлює ріст значень Ψ_0 до рівня 0,09...0,14, подальше збільшення ϵ до 25% не виявляє суттєвого впливу на Ψ_0 . Однак, завдяки моделюванню процесу прокатки з обтисненнями, близькими до 30%, удалося показати існування значимого зменшення Ψ_0 при збільшенні ϵ від 15 до 30 (%), складового до 10% від максимального його значення для заданої температури (див. рис. 3.2).

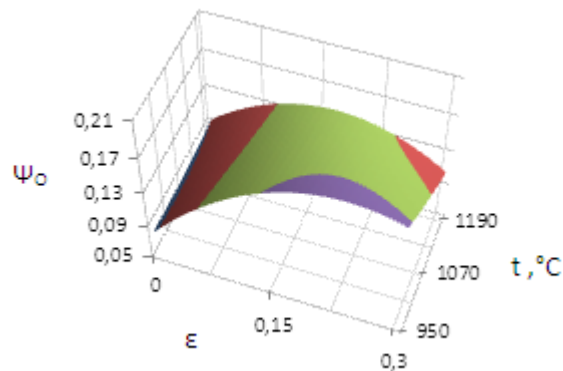


Рисунок 3.2 - Розрахунковий розподіл характеру впливу відносного обтиснення й температури на Ψ_0 для випадку прокатки на гладкій бочці валків при: $h_0/D = 0,48$; $b_0/h_0 = 1$; $b_0/l = 0,95$; $\beta = 0$; $\Delta f_\sigma/h_0 = 0$; $\Delta f_k/b_0 = 0$.

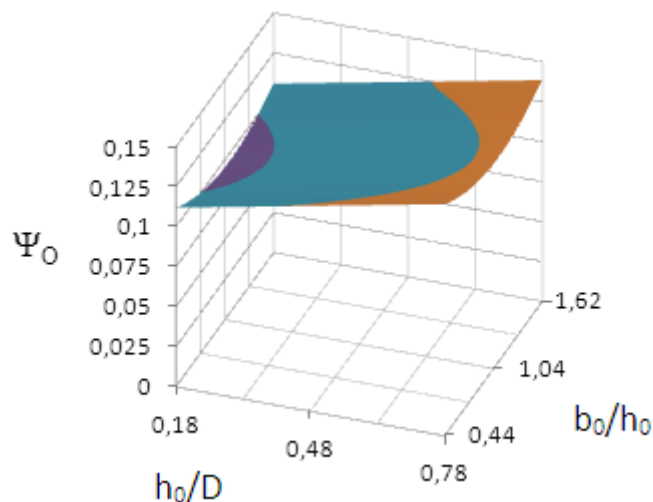


Рисунок 3.3 - Розрахунковий розподіл характеру впливу факторів b_0/h_0 і h_0/D на Ψ_0 для випадку прокатки на гладкій бочці валків при: $\epsilon = 0,3$; $b_0/l = 1$; $\beta = 0$; $\Delta f_\sigma/h_0 = 0$; $\Delta f_k/b_0 = 0$; $t = 1050^\circ\text{C}$.

Отриманий характер зміни ступені використання запасу пластичності осьової зони розкату обумовлює ефективність застосування максимальних сумарних значень Ψ_0 . Значимим є вплив на Ψ_0 факторів b_0/h_0 і h_0/D , що характеризують розміри, що прокатуються щодо товстих заготовок (див. рис. 3.3). При цьому збільшення відношення b_0/h_0 приводить до зменшення Ψ_0 . Найбільш помітний вплив b_0/h_0 на величину ступеня використання запасу пластичності осьової зони, що прокатуються щодо товстих заготовок при $\varepsilon = 30\%$, зменшення ε до 15% практично нівелює зміну Ψ_0 , обумовлену варіюванням b_0/h_0 в інтервалі від 1,0 до 1,3 (рис. 3.3).

Отриманий характер зміни ступені використання запасу пластичності осьової зони розкату обумовлює ефективність застосування максимальних сумарних значень Ψ_0 . Значимим є вплив на Ψ_0 факторів b_0/h_0 і h_0/D , характеризуючи розміри, що прокочуються щодо товстих заготовок (рис. 3.3). При цьому збільшення відношення b_0/h_0 приводить до зменшення Ψ_0 . Найбільш помітний вплив b_0/h_0 на величину ступеня використання запасу пластичності осьової зони, що прокочуються щодо товстих заготовок при $\varepsilon = 30\%$, зменшення ε до 15% практично нівелює зміну Ψ_0 , обумовлене варіюванням b_0/h_0 в інтервалі від 1,0 до 1,3 (рис. 3.3).

Отриманий характер зміни ступені використання запасу пластичності осьової зони розкату обумовлює ефективність застосування максимальних сумарних значень Ψ_0 . Значимим є вплив на Ψ_0 факторів b_0/h_0 и h_0/D , що характеризують розміри, що прокочуються щодо товстих заготовок (рис. 3.3). При цьому збільшення відношенні b_0/h_0 приводить до зменшення Ψ_0 . Найбільш помітний вплив b_0/h_0 на величину ступеня використання запасу пластичності осьової зони, що прокочуються щодо товстих заготовок при $\varepsilon = 30\%$, зменшення ε до 15% практично нівелює зміну Ψ_0 , обумовлене варіюванням b_0/h_0 в інтервалі від 1,0 до 1,3 (рис. 3.3).

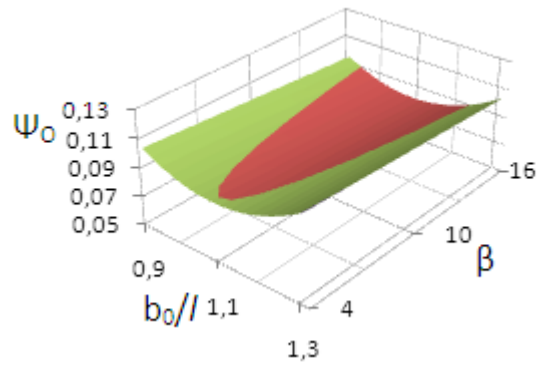


Рисунок 3.4 - Розрахунковий розподіл характеру впливу профілювання робочої поверхні гладкої бочки валків на Ψ_0 при: $\varepsilon = 0,3$; $h_0/D = 0,48$; $b_0/h_0 = 1$; $\Delta f_6/h_0 = 0$; $\Delta f_k/b_0 = 0$; $t = 1050^\circ\text{C}$.

Використання профілювань робочої поверхні гладкої бочки валків не приводить до помітної зміни Ψ_0 (рис. 3.4), тому що навіть при одиничному відносному обтисненню $\varepsilon = 30\%$ найбільше зниження Ψ_0 у порівнянні з використанням гладкої бочки валків становить 0,02.

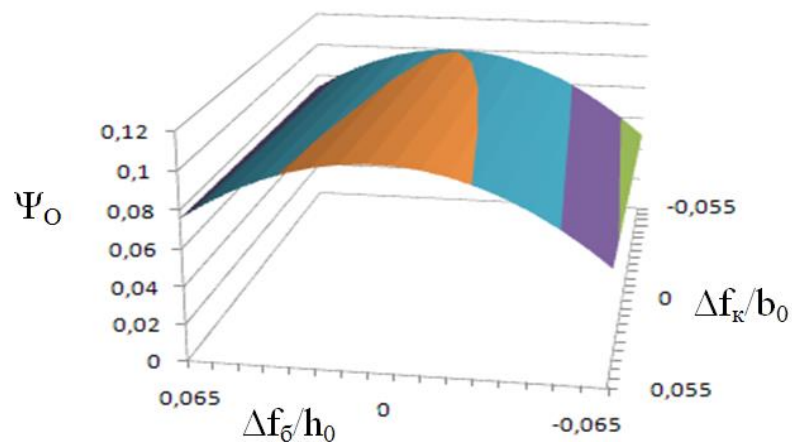


Рисунок 3.5 - Розрахунковий розподіл характеру впливу конфігурації поперечного перетину заготовки на Ψ_0 для випадку прокатки на гладкій бочці валків при: $\varepsilon = 0,3$; $h_0/D = 0,48$; $b_0/h_0 = 1$; $b_0/l = 1$; $\beta = 0$; $t = 1050^\circ\text{C}$.

Порівняння значень Ψ_0 для умов прокатки щодо товстих заготовок з поперечним перерізом різної конфігурації показує, що форма бічних граней може обумовлювати зміна ступеня використання запасу пластичності осьової зони розкату до 1,5 рази (рис. 3.5). При цьому значимість впливу фактора

$\Delta f_6/h_0$ зростає зі збільшенням величини обтиснення. У цілому з позицій можливого зниження Ψ_0 використання раціональних значень геометричних факторів осередку деформації при прокатці щодо товстих заготовок на гладкій бочці валків для розглянутої сталі, і насамперед відносного обтиснення, не менш ефективно, ніж правильний вибір температурних умов прокатки.

Установлене, що при прокатці в ящикових калібрах характер зміни ступені використання запасу пластичності в осьовій зоні розкату залежно від відносного часткового обтиснення й температури випробування аналогічний випадку прокатки щодо товстих заготовок на гладкій бочці валків (рис. 3.2 і 3.6). Однак абсолютна величина Ψ_0' для рівних значень ε і інших геометричних факторів осередку деформації при прокатці в ящикових калібрах на 30...40 (%) менше, чим при прокатці на гладкій бочці валків, що підтверджує відомі результати про більш сприятливу схему напружено-деформованого стану відносно товстих заготовок при використанні ящикових калібрів у порівнянні із прокаткою на гладкій бочці валків [19, 20, 21].

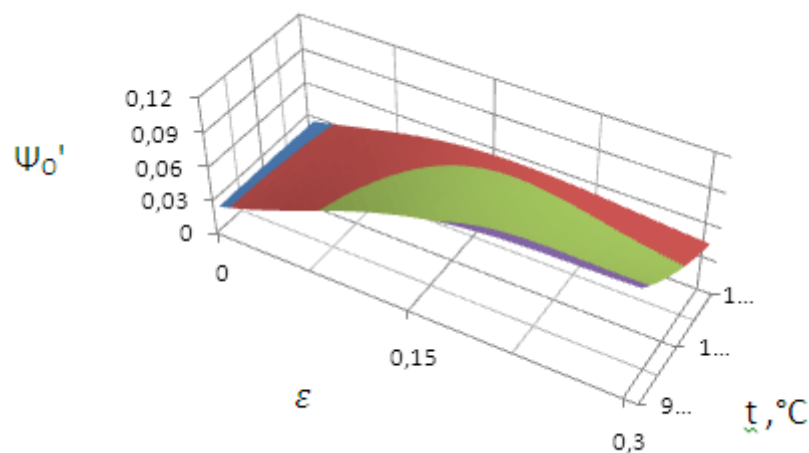


Рисунок 3.6 - Розрахунковий розподіл характеру впливу відносного обтиснення й температури на Ψ_0 для випадку прокатки в ящикових калібрах при: $h_0/D = 0,34$; $b_0/h_0 = 1$; $(B_K - B_D)/h_0 = 0,15$; $(B_0 - B_D)/h_0 = 0$; $2h_{вр}/h_0 = 0,54$; $F/h_0 = 0,025$; $r_D/h_0 = 0,065$; $\Delta f_6/h_0 = 0$; $\Delta f_K/b_0 = 0$.

Крім того в розглянутому випадку навіть при максимальних обтисненнях розкату ($\varepsilon = 25...30$ (%)) відзначене лише вповільнення росту Ψ_0' і зменшення величини можна прогнозувати для відносних обтиснень, більших ніж $30...35$ (%). Використання ящикових калібрів знижує й дія температурних умов на зміну ступеня використання запасу пластичності внутрішніх шарів металу. В інтервалі температур від 1200 до 950 °С ця зміна досягає двох разів.

Вплив відносини ширини розкату до його висоти на Ψ_0' при прокатці в ящикових калібрах (рис. 3.7) аналогічно впливу цього фактора для випадку прокатки на гладкій бочці валків. З іншого боку, значимого впливу величини h_0/D на Ψ_0' тут не виявлене, що можна пояснити як малим інтервалом варіювання h_0/D , складаючим $0,225...0,45$, так і відзначеним вище зм'якшуючим дією ящикового калібру. Зниженню значень Ψ_0' сприяє використання при прокатці в ящиковому калібрі розкату з вихідною шириною, більшої, ніж ширини дна калібру (рис. 3.8), що відповідає защемленню розкату стінками калібру.

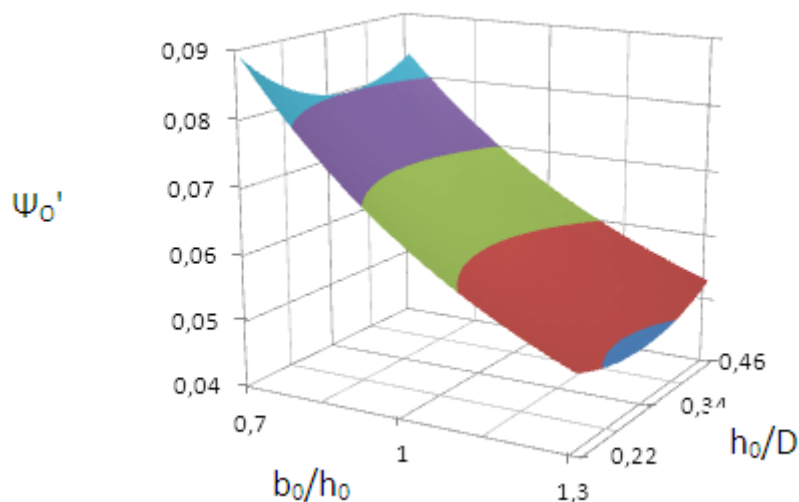


Рисунок 3.7 - Розрахунковий розподіл характеру впливу факторів h_0/D і b_0/h_0 на Ψ_0 для випадку прокатки в ящикових калібрах при: $\varepsilon = 0,15$; $(B_k - B_d)/h_0 = 0,15$; $(B_0 - B_d)/h_0 = 0$; $2h_{вп}/h_0 = 0,54$; $F/h_0 = 0,025$; $r_d/h_0 = 0,065$; $\Delta f_{\bar{\sigma}}/h_0 = 0$; $\Delta f_k/b_0 = 0$; $t = 1050$ °С.

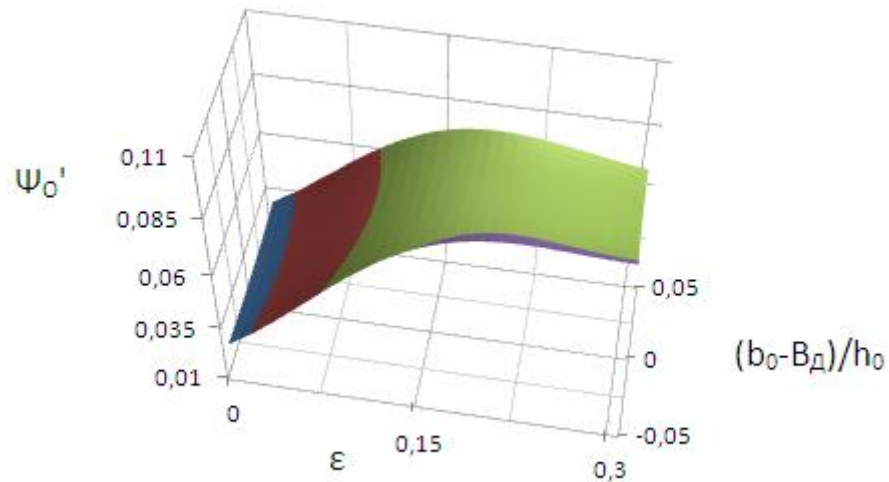


Рисунок 3.8 - Розрахунковий розподіл характеру впливу факторів $(b_0 - B_D)/h_0$ на Ψ_0' для випадку прокатки в ящикових калібрах при: $h_0/D = 0,34$; $b_0/h_0 = 1$; $(B_K - B_D)/h_0 = 0,15$; $2h_{вр}/h_0 = 0,54$; $F/h_0 = 0,025$; $r_d/h_0 = 0,065$; $\Delta f_6/h_0 = 0$; $\Delta f_K/b_0 = 0$; $t = 1050^\circ\text{C}$.

Виходячи з формули визначення зацеплення, запропонованої в роботі [22] В.М. Клименко $\alpha = (b_0 - B_D)/(B_K - B_D)$, цей показник зростає при збільшенні фактора $(b_0 - B_D)/h_0$ і зменшенні фактору $(B_K - B_D)/h_0$. З інформації про вплив цих факторів на Ψ_0' (див. рис. 3.7 і 3.8) випливає, що найбільш ефективно застосування зацеплення при використанні підвищених обтиснень. У цьому випадку для $\varepsilon = 15\%$, використання защемлення знижує рівень Ψ_0' в 1,5 рази, а для $\varepsilon = 30\%$ Ψ_0' зменшується в 1,8 рази. Висновки про вплив защемлення розкату стінками калібру на рівень показників якості внутрішніх шарів металу, що прокочується, відповідають відомим результатам [22], але отримані в більш широких діапазонах факторів осередку деформації.

Збільшення глибини ящикових калібрів трохи підвищує рівень Ψ_0' (рис. 3.9), що, очевидно, пов'язане з обмеженням росту $\Delta f_6/h_0$, величина якого істотна для визначення Ψ_0' .

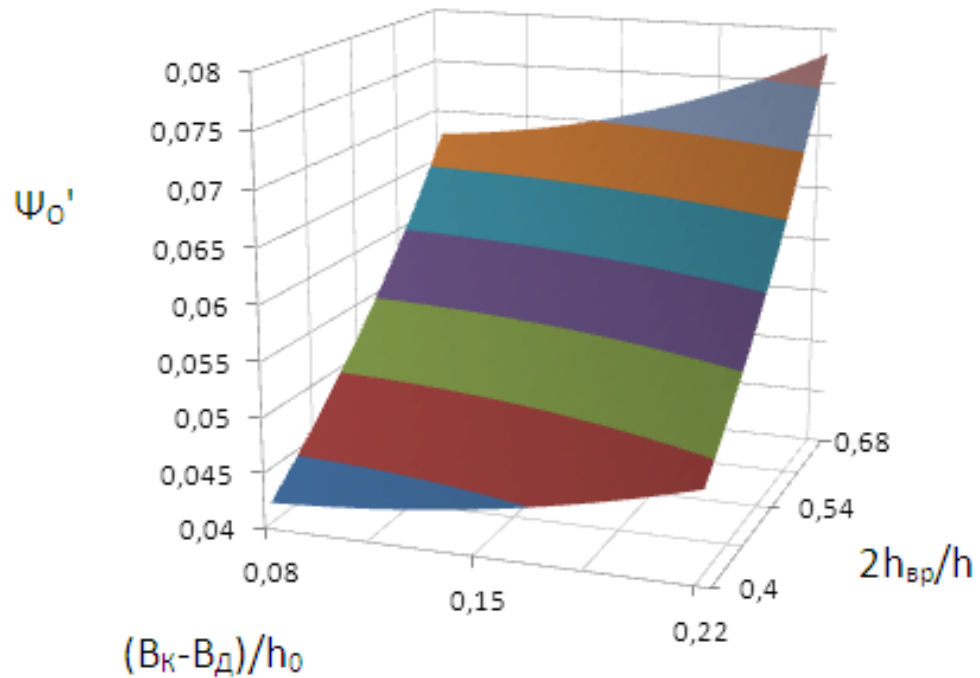


Рисунок 3.9 - Розрахунковий розподіл характеру впливу факторів $(B_k - B_d)/h_0$ и $2h_{vp}/h$ на Ψ_0' для випадку прокатки в ящикових калібрах при: $\varepsilon = 0,15$; $h_0/D = 0,34$; $b_0/h_0 = 1$; $(B_0 - B_d)/h_0 = 0$; $F/h_0 = 0,025$; $r_d/h_0 = 0,065$; $\Delta f_6/h_0 = 0$; $\Delta f_k/b_0 = 0$; $t = 1050^\circ\text{C}$.

Аналізуючи вплив факторів, що характеризують локальні особливості осередку деформації на Ψ_0' при прокатці в ящикових калібрах, слід зазначити, що значний вплив на Ψ_0' виявляє профіль бічних граней розкатів (рис. 3.10). При цьому дія стінок ящикових калібрів обумовлює безперервне зниження Ψ_0' при зменшенні ввігнутостей бічних граней, досягненні плоских бічних граней, утворенні й збільшенні їх опуклості. Отримане, що в досліджуваному інтервалі варіювання $\Delta f_6/h_0$ змінення Ψ_0' порівнянне з його зміною під дією ε (див. рис.3.4 и 3.10).

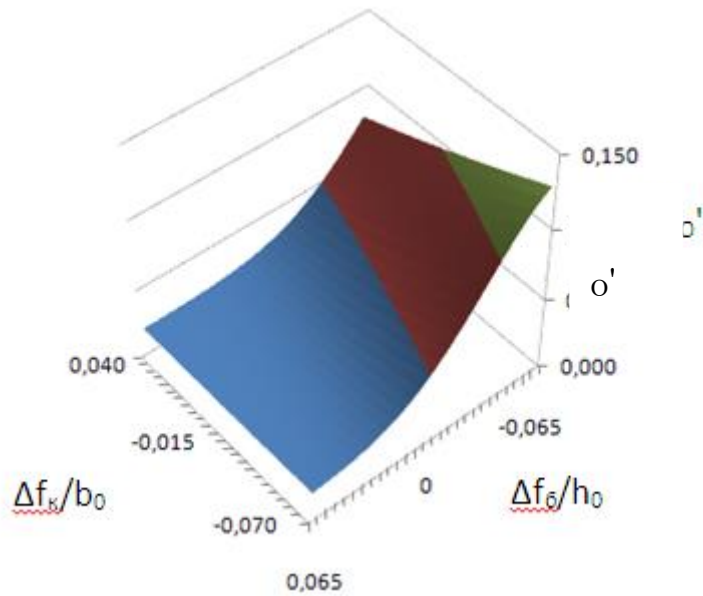


Рисунок 3.10 - Розрахунковий розподіл характеру впливу конфігурації поперечного переріза заготовки на Ψ_0' для випадку прокатки в ящикових калібрах при: $\varepsilon = 0,15$; $h_0/D = 0,34$; $b_0/h_0 = 1$; $(B_{\kappa}-B_{\text{д}})/h_0 = 0,15$; $(B_0-B_{\text{д}})/h_0 = 0$; $2h_{\text{вп}}/h_0 = 0,54$; $F/h_0 = 0,025$; $r_{\text{д}}/h_0 = 0,065$; $t = 1050^{\circ}\text{C}$.

Зменшення Ψ_0' можливо й при використанні в процесі прокатки розкатів з опуклими контактними поверхнями. Наведені результати характеризують можливість підсумовування ефекту впливу на Ψ_0' обох факторів $\Delta f_{\sigma}/h_0$, $\Delta f_{\kappa}/b_0$. За рахунок використання розкатів з опуклими бічними гранями в i -том проході й наступного кантування розкатів з одержанням опуклих контактних поверхонь розкату в $(i + 1)$ -м проході можливе зниження Ψ_0' в 2,0...2,5 рази у порівнянні із прокаткою розкатів прямокутного поперечного переріза.

Безперечно, що з позиції зниження Ψ_0' існує раціональний інтервал радіусів дуги окружності, що сполучає дно ящикових калібрів і їх бічні стінки, рівний 0,05...0,1 h_0 (рис. 3.11).

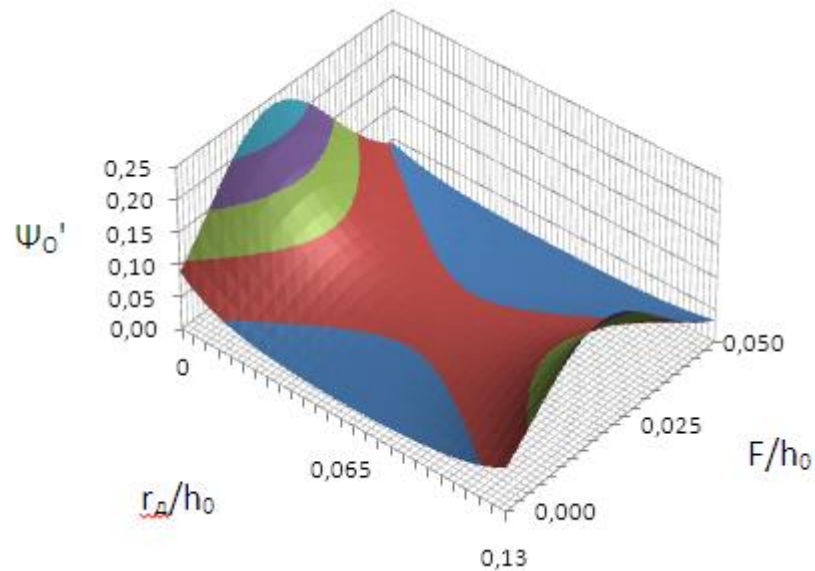


Рисунок 3.11 = Розрахунковий розподіл характеру впливу факторів F/h_0 и r_d/h_0 на $\Psi_{0'}$ для випадку прокатки в ящикових калібрах при: $\varepsilon = 0,15$; $h_0/D = 0,34$; $b_0/h_0 = 1$; $(B_K-B_D)/h_0 = 0,15$; $(B_0-B_D)/h_0 = 0$; $2h_{вр}/h_0 = 0,54$; $\Delta f_{\delta}/h_0 = 0$; $\Delta f_k/b_0 = 0$; $t = 1050^{\circ}\text{C}$.

Встановлено також, що на рівень $\Psi_{0'}$ у досліджуваному діапазоні варіювання радіус закруглення кутів розкату не впливає.

При прокатці в ящикових калібрах відношення ступені значимого впливу факторів на $\Psi_{0'}$ складає:

ε : r_d/h_0 : $\Delta f_{\delta}/h_0$: b_0/h_0 : $2h_{вр}/h_0$: T : F/h_0 : $(B_0-B_D)/h_0$: $(B_K-B_D)/h_0$: $\Delta f_k/b_0 = 100 : 80 : 75 : 50 : 45 : 45 : 30 : 25 : 15 : 15$.

Таким чином, сумарний вплив ряду факторів x_8, x_9, x_{10} , визначальних локальні особливості осередку деформації при прокатці в ящикових калібрах, на рівень Ψ_0 , як і для Λ , порівнянне із впливом відносного обтиснення й температурних умов. Це припускає можливість ефективного управління величиною ступені використання запасу пластичності осьової зони розкату з метою його мінімізації при прокатці в ящикових калібрах за рахунок спільного використання факторів, що характеризують конфігурацію калібру й поперечного перерізу розкату.

3.3 Математичне моделювання експерименту

Для умов прокатки злитків на блюмінгу проведення обчислювальних експериментів і узагальнення їх результатів дозволить провести порівняльну оцінку впливу геометричних параметрів режимів обтискань, калібрування валків стану на якість прокатуваного металу і оптимізацію елементів технології прокатки по даному критерію (бал макроструктури – БМ):

$$BM = \exp(1,86 - 0,35/\psi_{\Sigma})$$

де ψ_{Σ} – параметр оптимізації (Y) – сумарний ступінь використання запасу пластичності металу при прокатці на блюмінгу.

Досліджувані чинники, характер їх зміни і схеми кодування приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Досліджувані фактори

характеристика	Фактор		
	Середнє абсолютне обтискання в калібрі, мм	Ширина дна калібру, мм	Ширина у роз'єму калібру, мм
код	X ₁	X ₂	X ₃
основний рівень	72,5	320	380
нижній рівень	60	300	360
верхній рівень	85	340	400

План експерименту

Вибираємо матрицю повного факторного експерименту 2³ (табл. 3.3)

Таблиця 3.3– Умови проведення дослідів

№	Значення чинників в кодованому вигляді			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₀
1	+	+	+	+
2	-	+	+	+
3	+	-	+	+
4	-	-	+	+
5	+	+	-	+
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	+

x₁ – середнє абсолютне обтискання в калїбрі;

x₂ – ширина дна калїбру;

x₃ – ширина у роз'єму калїбру.

Реалїзація плану експерименту

Розрахунок дисперсії досвїду S_y.

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

де n₀ – кїлькїсть дублїв на основному рївнї;

i – номер дубля;

Y_{0i} – значення параметра оптимїзацїї в i – ом дублї;

Y₀ – середнє арифметичне результатїв всїх дублїв;

f – число ступеня свободи (f₁ = n – 1)

Визначаємо S²_y. Складаємо розрахункову таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахункова таблиця

дослід	Y_e	$Y_{oe} - Y_o$	ΔY_e^2
9	0,225	0,002333	$5,44 \cdot 10^{-6}$
10	0,227	0,000333	$1,11 \cdot 10^{-7}$
11	0,23	-0,00267	7,11111E-06
-	$y_0 = 0,227$		$\Sigma \Delta y = 1,26 \cdot 10^{-5}$

Побудова математичної моделі

$$b_j = \sum_{j=1}^n X_{jn} \times Y_n / N$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії ($j = 0, 1, 2, \dots, k$)

X_{jn} – значення j -го чинника в n -м досвіді в кодованому вигляді;

Y_n – значення параметрів оптимізації в n -м досвіді;

N – число дослідів в матриці планування.

Математична модель має наступний вигляд.

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

У матриці планування, що реалізовується, одержані наступні результати таблиця 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати дослідів

досвід	1	2	3	4	5	6	7	8
результат	0,21	0,246	0,234	0,228	0,387	0,198	0,199	0,223

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканої моделі.

$$b_0 = (M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + M7 + M8) / 8 = (0,21 + 0,246 + 0,234 + 0,228 + 0,387 + 0,198 + 0,199 + 0,223) / 8 = 0,241$$

$$b_1 = (M1 - M2 + M3 - M4 + M5 - M6 + M7 - M8) / 8 = (0,21 - 0,246 + 0,234 - 0,228 + 0,387 - 0,198 + 0,199 - 0,223) / 8 = 0,0169$$

$$b_2 = (M1 + M2 - M3 - M4 + M5 + M6 - M7 - M8) / 8 = (0,21 + 0,246 - 0,234 - 0,228 + 0,387 + 0,198 - 0,199 - 0,223) / 8 = 0,0196$$

$$b_3 = (M1 + M2 + M3 + M4 - M5 - M6 - M7 - M8) / 8 = (0,21 + 0,246 + 0,234 + 0,228 - 0,387 - 0,198 - 0,199 - 0,223) / 8 = -0,0111$$

Лінійна модель має попередній вигляд.

$$Y = 0,241 + 0,0169 x_1 + 0,0196 x_2 - 0,0111 x_3$$

Статистичний аналіз моделі

Визначаємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії.

$$s_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} = \sqrt{\frac{6,3 \cdot 10^{-6}}{8}} = 0,00088$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Стюдента, рівне 4,3.

Визначаємо $\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,00088 = \pm 0,00382$

У одержаному рівнянні всі коефіцієнти виявилися значущими, рівняння має наступний вигляд.

$$Y = 0,241 + 0,0169 x_1 + 0,0196 x_2 - 0,0111 x_3 = 3543$$

Перевіряємо адекватність моделі в цілому. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок дисперсності неадекватності

дослід	значення Y		Δ Y	Δ Y ²
	експериментальне	розрахункове		
1	0,21	0,266	0,056	0,00314
2	0,246	0,232	-0,014	0,00019
3	0,234	0,227	-0,007	0,00005
4	0,228	0,193	-0,035	0,00123
5	0,387	0,288	-0,099	0,00975
6	0,198	0,255	0,057	0,00319
7	0,199	0,249	0,050	0,00250
8	0,223	0,215	-0,008	0,00006

$$\Sigma = 0,020$$

Визначаємо оцінку дисперсності неадекватності.

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N \Delta y^2}{f_2} = 0,020 / (8 - 4) = 0,005$$

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

Визначаємо розрахункове значення F – критерію.

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} = 0,005 / 0,0038 = 1,31$$

З таблиці для $\alpha = 0,05$ $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,2. Умова адекватності $F_{розр} < F_{табл}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень сумарного ступеня використання ресурсу пластичності осьової зони гуркоту.

Інтерпретація результатів

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

Одержану залежність представимо в графічному виді впливу окремих чинників на параметри оптимізації (рис. 3.12, 3.13, 3.14).

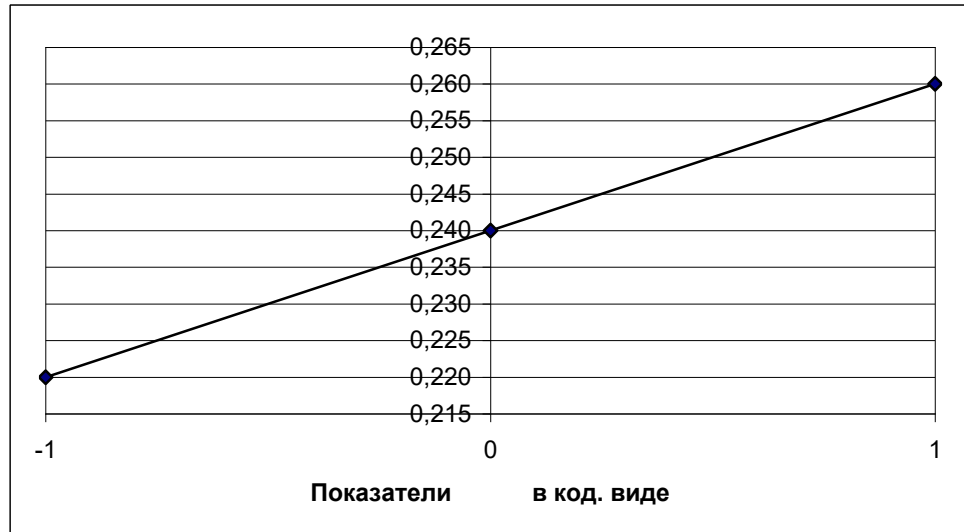


Рисунок 3.12 – Графічна залежність середнього абсолютного обтискання від сумарного ступеня використання запасу пластичності ψ_{Σ} .

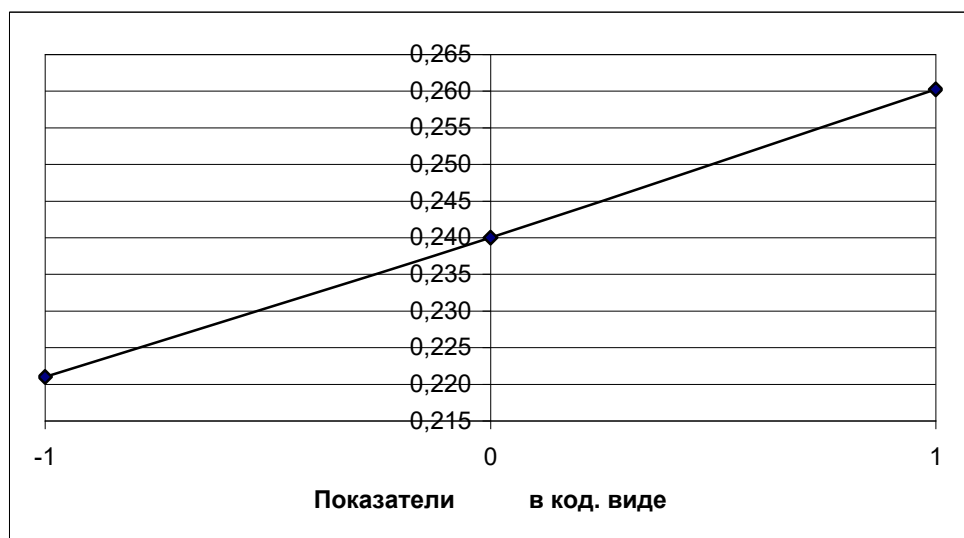


Рисунок 3.13 – Графічна залежність ширини дна калібру від сумарного ступеня використання запасу пластичності ψ_{Σ} .

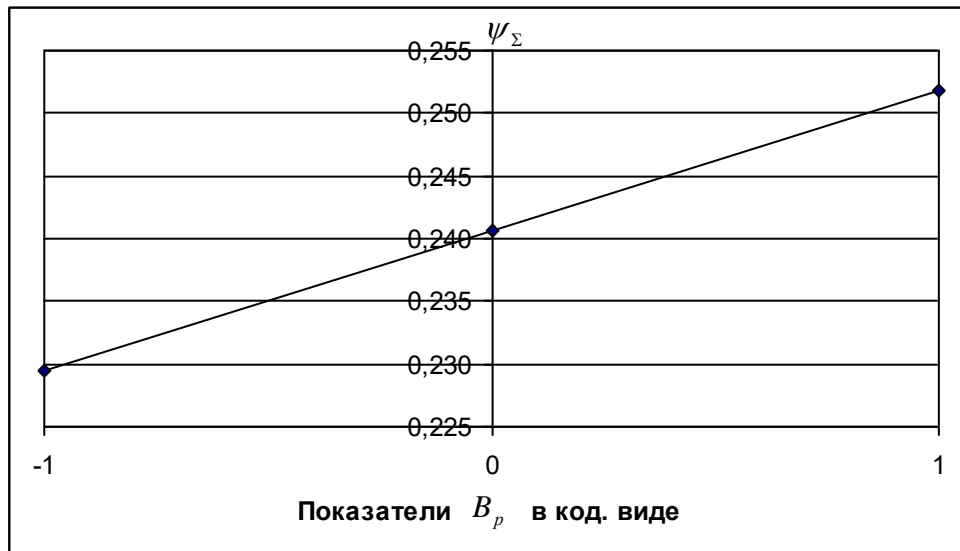


Рисунок 3.14 – Графічна залежність від сумарного ступеня використання запасу пластичності ψ_Σ

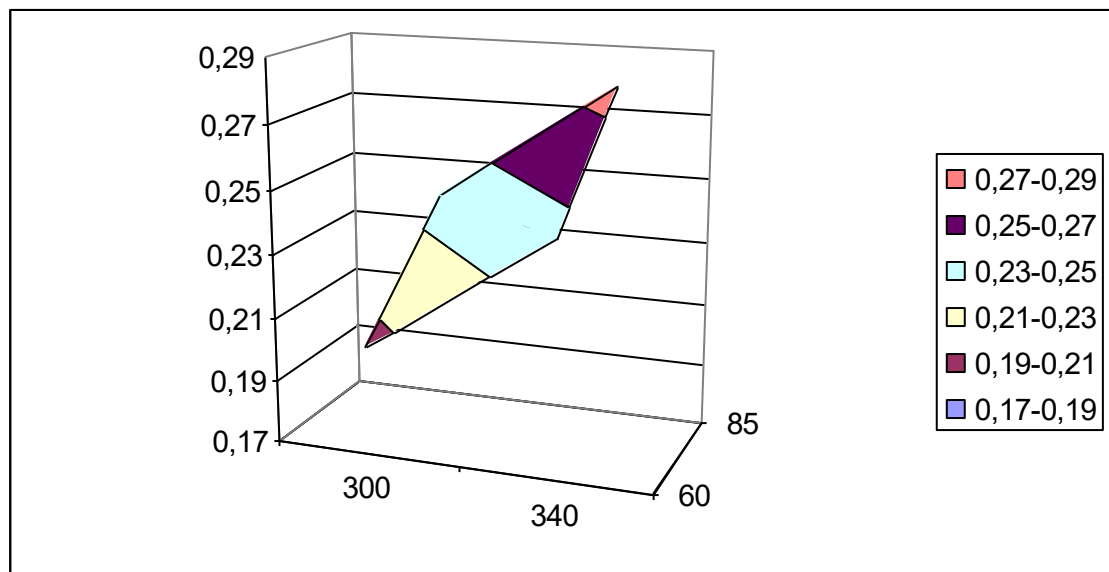


Рисунок 3.15 – Графічна модель поверхні відгуку для будь-якої точки вивченого факторного простору

3.4 Практична цінність отриманих результатів

Розроблено методику по застосуванню електронних обчислювальних машин для розрахунків раціональних режимів обтиснень при прокатці на блюмінгу. Вперше розроблений алгоритм, що моделює процес прокатки на блюмінгу 1050. По заданому алгоритму вибираються схеми прокатки обумовлені маркою сталі, умовами захвату і числом проходів, і розраховується режим обтиснень відповідно до прийнятих схем кантування. Методика розрахунку раціонального режиму обтиснень при прокатці на блюмінгу із застосуванням електронних обчислювальних машин знайде свій подальший розвиток і вдосконалення в науково-дослідних роботах, проектах та ін. Оснащення заводів, проектних і конструкторських бюро електронними обчислювальними машинами вимагає розробки програм, які моделюють реальні процеси прокатки. Тому дана методика може виявитися корисною при виконанні великого об'єму розрахунків при розробці технології прокатки на блюмінгу 1050.

Режими обтиснень для прокатки блюмів розробляють стосовно до заданих умов, головними з яких є:

- 1) характеристика блюмів: розміри, що допускають відхилення, вимоги, пропоновані до якості поверхні і формі поперечного перерізу та ін.;
- 2) характеристика вихідного матеріалу: розміри та маса зливка, марка сталі, температура металу перед прокаткою і по ходу процесу;
- 3) характеристика блюмінга: діаметр і довжина бочки валків, швидкість прокатки, потужність двигуна, міцність валків і деталей стана, швидкість переміщення натискних гвинтів, механічне устаткування стана та ін.

Поряд з одержанням якісного блюма при складанні режиму обтиснень необхідно враховувати наступне:

- 1) обтиснення за прохід не повинні викликати перевантаження двигуна, перевищувати тиск, що допускається металу на валки і ускладнювати умови захвата розкату валками;

2) тривалість циклу прокатки повинна бути мінімальною, для чого необхідно прагнути до скорочення загального числа проходів, кантувань і переміщень розкату;

3) забезпечення мінімальної собівартості прокату і можливості механізації та автоматизації процесу прокатки.

Через те, що зі зливка однієї маси прокатують блюми декількох перетинів, необхідно прагнути до можливої уніфікації режиму в початкових проходах; при цьому розходження в режимах обтиснень повинне бути лише в останніх проходах. Це захід значно полегшить автоматизацію процесу прокатки і забезпечить збільшення продуктивності стана.

Продуктивність блюмінга значною мірою залежить від обтиснення за кожний прохід; чим більше обтиснення, тим менше потрібно проходів і менше ритм прокатки, отже, тим більше продуктивність стана. Слід зазначити, що зменшення числа проходів впливає на ріст продуктивності блюмінга в більшому ступені, ніж підвищення швидкості прокатки. Зі зменшенням числа проходів збільшується коефіцієнт корисної дії стана.

Для збільшення продуктивності блюмінга необхідно застосовувати можливо більші обтиснення за кожний прохід. Крім того, більші обтиски забезпечують кращу проробку центральних шарів металу, зменшують нерівномірність деформації по товщині розкату і поліпшують якість прокату.

К основним факторам, що обмежують обтиснення при прокатці за кожний прохід, відносять пластичність металу, умови захвата металу валками, міцність валків, потужність двигуна стана, зношування валків, розширення.

За даними практики і досліджень пластичність сталі обмежує обтиснення лише в перших проходах при прокатці злиwkів головним чином легованої сталі. У цих випадках обтиснення за прохід і сумарну деформацію визначаються на підставі дослідних даних. Слід зазначити, що застосування в цих випадках великої дрібності деформації дозволяє довести сумарну деформацію без руйнування до значної величини. Досліди показують, що

чим менше частки обтиснення, тим більшої сумарної деформації можна досягти.

У більшості випадків прокатки блюмів на сучасних блюмінгах обтиснення за кожний прохід обмежується умовами захвата штаби валками. У цих випадках режим обтиснень розраховують, виходячи з умови надійного захвата з наступною перевіркою міцності валків і деталей стана й потужності двигунів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

До основних небезпечних і шкідливих факторів у прокатному цеху ставляться:

- інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на зорові органи людини (300 - 4000 Вт/м);
- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні масла, які протягом 83,3% робітника часу впливають на внутрішні органи людини;
- пил, виділюваний при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, які протягом 91,4% робітника часу впливають на слизову оболонку органів подиху, що приводять к захворюванням;

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в таблиці 4.1.

Для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на зорові органи робітників раціонально використати світлові екрани (фільтри), які безпосередньо встановлюються на постах чорнової і чистової групи, де оператори і вальцювальники візуально контролюють процес прокатки.

З таблиці 4.1 видно, що робота операторів, вальцювальників ставиться до робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці. Відповідно до гігієнічної класифікації умов праці вальцювальник має право на пільгових умовах на: пенсію по старості на пільгових умовах за списком №1; додаткова відпустка 24 дня; надбавка до зарплати 24%, молоко. Ст. 141 КЗОТ містить загальні вказівки про порядок видачі за рахунок підприємства спецодягу і запобіжних пристосувань (окуляри, маски, респіратори, мило і т.п.) всім

працюючої на особливо шкідливих роботах з перебуванням у ненормальній температурі.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Факти ч. знач.	III клас вредн. і опасн. усл. і характер праці			Час дії фактора за зміну,%
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ :						
	<u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		90
	<u>III-IV клас небезпеки</u>						
	Ангідрид сірчастий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
2.	Масла мінеральні	5	6,78	1,36			90
	Пил переважно фиброгенного дії, мг/м ³	4	26,3			6,58	90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4.	Шум, дБ						
5.	Інфразвук, дБ	80	105			25	100
6.	Ультразвук, дБ						
7.	Неіонізуюче випромінювання:						
	- радіочастотний діапазон, В/м						
	- діапазон промислової частоти, кв/м						
	- оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ³						
8.	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря, °С	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	<0,3				
	- відносна вологість повітря,%	55	32				
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м ³	140	411		411		83
9.	Температура навколишнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), ?С						
	улітку						
10.	узимку						
11.	Атмосферний тиск						
	Вага і напруженість праці						

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиділення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний витяг пар, що утворилися	Над станом
Небезпечний рівень струму	Ізоляція і огороження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами.	На панелях пульта керування
Метал, що переміщується	Огороження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки	Захист від травм під час руху й переміщення металу	На території небезпечної зони

4.3 Технічні рішення по виробничій санітарії

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов прямого потрапляння сонячних променів, природного провітрювання і відводу стічних і поверхневих вод.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шумів і інших шкідливих факторів. Передбачає міри, що зменшують їхній несприятливий вплив на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, і робочій зоні приміщень.

Освітлення у цеху

У прокатному цеху застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі.

Згідно СНіПу-4-79 роботи, виконувані персоналом при прокатки слябів, ставляться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості освітлення. Для загального освітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становить 150лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

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

Для виробничих приміщень, у яких виробляються точні роботи, установлені три розряди з мінімальними нормами при комбінованому висвітленні лампами накаливання: I розряд – для робіт, що вимагають розрізнення деталей розміром 0,1мм і менш - 400 –1500лк; II розряд – для робіт потребує розрізнення деталей розміром більше 0,1 до 0,3мм - 300 – 1000лк; III розряд – для робіт потребує розрізнення деталей розміром більше 0,3 до 1мм - 200 – 500лк; IV розряд – для робіт малої точності, що вимагають розрізнення деталей розміром від 1,0 до 10мм - 100 –150лк; V розряд – для грубих робіт потребує розрізнення деталей розміром більше 10мм – 100лк.

Мікроклімат

Для обігріву цеху в зимову пору року уздовж стін на ділянках, де працюють люди, установлене водяне опалення. Для перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД-300. Вони розташовані так, щоб від них струмінь примусової подачі повітря сковзала уздовж прольоту.

Для огороження припливу холодного повітря під час в'їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20 °С.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилу – незначне. Ділянка стана блюмінг 1050 ставиться до Іа групи: для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції:

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використовуються

також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), те передбачена система проточної вентиляції.

Санітарно - побутові приміщення

Створення прийнятних санітарно-побутових умов у приміщеннях у значній мірі попереджають захворювання працюючого персоналу. Будинок побутових приміщень 3-х поверхове. Висота поверхів більше 3-х метрів. Відношення площі вікон до площі підлоги 1:5 ... 1:9, що забезпечує достатню освітленість приміщень. Робочий і чистий одяг зберігається в закритих подвійних шафах. Ширина проходів між шафами не менш 1м. Душові кабінки площею 6,8 м² на одну душову установку.

Електробезпека

Електробезпека – це комплекс мер, спрямованих на запобігання поразки людини електричним струмом.

Вплив електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідки і навіть привести до смерті. Небезпека збільшується тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлене за допомогою наших органів почуттів. Імовірність смертельного результату при поразках електричним струмом велика. Великий вплив робить зовнішнє середовище.

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

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

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5,9 \text{ A}$, напруги відповідно $U = 220\text{-}380 \text{ V}$.

Однієї з основних причин поразки електричним струмом є пробій ізоляції.

При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині: на броні кабелю і т.д.), які в нормальному положенні не перебувають. При сполученні з металевими конструкціями, які оказались під напругою, виникає небезпека поразки електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при впливі електричного струму через дугу; безпосереднім зіткненні з відкритими струмоведучими частинами і проводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або вплив при помилковій подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, які випадково оказались під напругою; при торканні струмоведучих частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, які випадково оказались під напругою; при впливі крокових напруг і др.

Небезпека електричних поразок створює різноманітне устаткування: електричний привод (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування під'їмо-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і т.д.

Заходи захисту від поразки електричним струмом

У цехах з підвищеною температурою повітря використовують наступні міри захисту від поразки електричним струмом:

- а) захист від дотику до струмоведучих частин;
- б) захист від дотику до встаткування, які випадково оказались під напругою;

в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку застосовують огороження і ізоляцію струмоведучих частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку, найпоширенішому, конструктивно простій і дуже ефективним заходом захисту є заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою складаються в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, які оказались випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпека поразки дотику до них людини.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового проведення; називається захисним зануленням. Ціль захисного занулення перетворити пробій на корпус у коротке замикання між фазним і нульовим проведеннями, викликати тим самим протікання великого струму через захист і швидко відключити ушкоджене встаткування від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більше 0,2 с, при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі з появою напруги на корпусі і інших металевих частинах, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і допоміжні захисні засоби. До основного ставляться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебуває під напругою. До додаткового ставляться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і які забезпечують безпеку при нарузі дотику і кроковій нарузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, що ізолюють кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін.

Вибір схеми мережі

Прокатний цех відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32⁰ С) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК) струмопровідним пилом, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на, вищевикладене зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

Схема мережі, а отже і режим нейтралі джерела струму, що живлять цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирьохпровідна мережа із глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотирьохпровідної мережі 380 В можна житися як силове навантаження – трьохфазне або однофазну, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим провідниками, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів.

4.4 Пожежна та техногенна безпека

Приміщення цеху по ОНТП 24-86 ставляться до категорії «Г» по пожежної безпечності, це викликано тим, що в цеху має місце наявність пожежонебезпечних факторів, пов'язаних із застосуванням газових сумішей ІV групи для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізі металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах

запаляться. Для гасіння виниклих пожеж передбачені пожежні щити, розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені системи блокування поширення пожежі.

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

Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будинків промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії виробництва, площі і висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленого матеріалу. Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи. У цеху застосовується пожежне водопостачання в якому витрата води на зовнішнє водопостачання 15 л/с.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну і повітряно-механічну піни, пісок.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються і пінні вогнегасники типу ОХП-10; ОВП-5; ОВП-10, у кількості 10 штук, які розташовані на протипожежних стендах.

4.5 Заходи щодо захисту навколишнього середовища

Обтискний цех сортового металу є основним споживачем води (72 млн.м³/рік) і є джерелом забруднення води окалиною і маслами. Застосовувані методи очищення масло окалино змістовних вод, у тому числі з використанням реагентів приводить до утворення замащеного (до 10-20%) осаду дрібнодисперсної окалини. Замаслений і обводнений залізовмісний шлам, втрачаючи сипкість, злежується і налипає на ринви, бункери та дозуючі пристрої. Тим часом окалини є коштовною металургійною

сировиною, використовуваною в сталеплавильному виробництві і порошковій металургії.

Після введення в експлуатації очисних споруджень зворотнього циклу водопостачання, запропоноване введення неіоногенних поверхньоактивних речовин (НПАВ), що у свою чергу приведе до зневоднювання і знемаслювання окалини. З погляду санітарії виробництва потрібно відзначити, що після введення НПАВ у воду подавану на гарячепрокатний стан зменшиться виділення пилю, за рахунок змочування поверхневого шару (шаруючи окалини) смуги і що поліпшить змив на гідрозбивах для утилізації. Також необхідно відзначити, що введення НПАВ може вплинути на зменшення витрати поверхні валків.

Роблячи висновки, можна відзначити, що промислові дослідження очищення окалино змістовних вод від масел із застосуванням НПАВ показали, що кількість у тонко дисперсної (менш 100мкм) окалині за три місяці збирається в 4-5 разів менше, швидкість зневоднювання виросла в 2 рази.

4.6 Інженерна розробка медичного захисту від небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

У термічному відділенні прокатного цеху обсягом 5000 м³ для нагрівання стана встановлено нагрівальні колодязі з тепловиділяючою поверхнею площею 104,9 м². Температура усередині печі $t_{\text{вн}} = 1270^{\circ}\text{C}$. Стінки печей цегельні із шамоту ізольовані діатановою цеглою товщиною $\delta = 390$ мм. Продуктивність печі 9364 кг/с. Початкова температура металу, що витягає з печі, $t_{\text{поч}} = 1250^{\circ}\text{C}$. До моменту вивезення з відділення метал остигає до $t_{\text{кін}} = 1050^{\circ}\text{C}$. Температура зовнішнього повітря $t_{\text{зов}} = 26^{\circ}\text{C}$. Температура повітря у відділенні $t_{\text{від}} = 25^{\circ}\text{C}$. Температура повітря, що йде, $t_{\text{ух}} = 35^{\circ}\text{C}$.

Знайдемо загальне тепловиділення в термічному відділенні за годину. Основні джерела теплоти – нагрівальні печі і метал, що остигає (іншими джерелами зневажаємо).

Рішення

Коефіцієнт тепловіддачі стінки:

$$R = 1/(1/\alpha_1 + \beta/\lambda + 1/\alpha_2) ; \quad (4.1)$$

де: α_1 ; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях печі;

λ - коефіцієнт теплопровідності шамотної цегли;

тоді

$$R = 1 / (1/ 397,6 + 0,39/44,4 + 1 / 221) = 66,6 \text{ Дж/с}$$

Тепловиділення від нагрівальних печей:

$$Q_n = R (t_{вн} - t_{від})S ; \quad (4.2)$$

де: R - коефіцієнт тепловіддачі стінок печі, Дж/с;

S - сумарна площа тепловиділяючих поверхонь колодязя, м²;

$t_{вн}$ – температура усередині колодязя, °С;

$t_{від}$ – температура повітря у відділенні, °С;

$$Q_n = 66,6 \cdot (1270 - 25) \cdot 104,9 = 8697993 \text{ Дж/с.}$$

Знаходимо тепловиділення металу, що остигає, Дж/с:

$$Q_M = PC(t_{\text{поч}} - t_{\text{кін}}); \quad (4.3)$$

де: P – сумарна продуктивність колодязів, г/ч;

C - теплоємність металу,

$t_{\text{поч}}$ - початкова температура металу, що витягає з колодязя, °С;

$t_{\text{кін}}$ - температура металу до моменту вивозу з відділення, °С;

тоді

$$Q_M = 9364 \cdot 0,14 (1250 - 1050) = 261,9 \text{ кДж.}$$

Далі знаходимо загальну кількість теплоти, що виділяється у відділенні від нагрівальних печей і металу, що остиває.

$$Q_{\text{заг.}} = Q_n - Q_M = 8697993 + 261912 = 8959,9 \text{ кДж}$$

Приймаємо втрати теплоти через огороження відділення рівними 20% від загального надходження теплоти. Тоді надлишкова кількість теплоти буде дорівнює:

$$Q_{\text{над.}} = Q_{\text{заг.}} \cdot 0,8 = 8959905 \cdot 0,8 = 7167924 \text{ Дж.}$$

Кількість повітря, який необхідно ввести для видалення надлишкової теплоти, м³/год:

$$V_{\text{пов.}} = 3550 \cdot Q_{\text{над.}} / C_v(t_{\text{ух}} - t_{\text{зов}}) = 3,6 \cdot 7167924 / 1,256(35 - 26) = 2054500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

де: C_v – об'ємна теплоємність повітря, кдж/(м³К);

$t_{\text{ух}}$ – температура повітря, що йде, °С;

$t_{\text{зов}}$ – температура зовнішнього повітря, °С.

Знаходимо кратність повітрообміну:

$$K = V_{\text{пов}} / V_{\text{прим}}, \quad (4.4)$$

де: $V_{\text{прим}}$ – обсяг приміщення, м³;

$$K = 2054500 / 397360 = 5,2$$

тобто повітря в приміщенні обмінюється 5 разів.

5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ

5.1 Капітальні вкладення

В економічній частині дійсного проекту визначена техніко-економічна ефективність реконструкції обтискної кліті блюмінга 1050 відповідно до переліку заходів, наведеним у експериментальній частині.

Продуктивність стану 1050, що робить заготівлю для сортових станів заводу ПАТ "Днепрспецсталь", перебуває на рівні 75849 тонн у рік. У дійсній роботі при розрахунку економічних показників приймаємо плановану продуктивність стану 86467 тонн у рік.

Реконструктивними заходами на стані передбачена заміна валків обтискної кліті. Капітальні вкладення на переоснащення валкової системи обтискної кліті стану 1050 приймаємо в сумі 387 316 гривень.

5.2 Розрахунок економічного ефекту

Визначаємо річний економічний ефект наміченої реконструкції по формулі:

$$E_{\text{річ}} = (C_1 - C_2) \cdot B_2 - E_n \cdot \Delta \text{КВ}, \quad (5.1)$$

де $E_{\text{річ}}$ – річний економічний ефект;

C_1, C_2 - собівартість одиниці продукції відповідно в базовому й проектному варіанті;

E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень (0,15) ;

$\Delta \text{КВ}$ – величина капітальних вкладень на виконання намічених заходів, грн. B_2 – обсяг випускає продукції, що, у проектному варіанті;

$$\Delta r = (6176,07 - 6151,9) \cdot 86467 - 0,15 \cdot 387316 = 2031810 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність капітальних вкладень:

$$E = E_{\text{річ}} / \text{КВ}; \quad (5.2)$$

$$E = 2031810 / 387316 = 5,24 \text{ грн./грн.}$$

Строк окупності капітальних вкладень:

$$T = 1 / E, \quad (5.3)$$

$$T = 1 / 5,24 = 0,2 \text{ року}$$

5.3 Розрахунок собівартості 1 тони металу

Таблиця 5.1 – Калькуляція собівартості 1 тонни прокату

Найменування	Од. вим.	За заводським даними			По проекті			Відхилення
		кіль-ть	ціна, грн.	Велич. витрат, грн	Кіль-ть	ціна, грн.	Велич. витрат грн	
1. Задано	т	1.25	4359	5448,7	1.25	4359	5448,7	
2. Відходи:	т	0.25		597,77	0.246		573,6	-24,17
Кінці й обрєзь	т	0.22	2711	596,42	0.211	2711	572,02	-24,4
Вигар і окалина	т	0.03	45	1,35	0.035	45	1,58	
Разом				4850			4875,1	25,1
3. Витрата по переділі:		1200	97,50	120,6	1200	97,5	120,6	
Витрата по зачищенню		95.23	80.5	9,0	95,23	80.5	9,0	
Разом витрати по переділі				129,6			129,6	
Разом собівартість				6176,1			6151,9	-24,2

Таблиця 5.2- Техніко-економічні показники

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант	Відхилення
Річний обсяг виробництва, т.	75849	86467	+10618
Собівартість однієї тонни прокату, грн.	6176,1	6151,9	-24,2
Річний економічний ефект, грн.		2031810	
Капітальні вкладення, грн.		387316	
Економічна ефективність капітальних вкладень грн/грн.		5,24	
Строки окупності, рік		0,19	

В результаті капіталовкладень на заміну валків стану 1050 у сумі 387316 грн., річний економічний ефект складе 2031810 грн. Строк окупності проекту 2,5 місяці.

ВИСНОВКИ

1. На основі розв'язання кінцево-елементного завдання в рамках виділених елементарних обсягів, отриманих шляхом розбивки осередку деформації по його ширині й довжині, одержано математичні моделі напружено-деформованого стану металу при гарячій прокатці щодо товстих заготівель на обтискних станах.

2. Побудовані значимі й адекватні математичні моделі впливу геометричних факторів осередку деформації при прокатці в ящикових калібрах і на гладкій бочці валків на показники пластичного плину, що характеризують якість прокату. За допомогою отриманих моделей зроблена оцінка ступеня впливу на дані показники всіх геометричних факторів осередку деформації й температури. Установлене, що спрямована спільна зміна факторів, що характеризують локальні особливості пластичного плину металу, дозволяє значно змінювати ступінь деформації зсуву осьової зони розкату, тим самим поліпшити якість заготовок, що прокатуються.

3. Комплексний аналіз зміни всіх отриманих у результаті моделювання даних характеристик напружено-деформованого стану металу залежно від значень геометричних факторів осередку деформації, у тому числі визначаючих локальні особливості пластичного плину металу, підтвердив правомірність використання теоретичного підходу для розв'язання завдання тривимірного пластичного плину металу.

4. Суттєва зміна характеристик напружено - деформованого стану при варіюванні конфігурації геометричного осередку деформації обумовлює принципову можливість створення для кожного проходу режиму обтиснень (особливо при прокатці в ящикових калібрах) такої сукупності геометричних факторів осередку деформації й температури, при яких досягається практично рівномірне вичерпання запасу міцності

металу по всім перетину розкату. У той же час у зонах розкату, що характеризуються максимальною ймовірністю дефектоутворення, за рахунок спрямованої спільної зміни всіх геометричних факторів осередку деформації можливо значне зниження ступені використання запасу.

5. Показано, що характер зміни математичних моделей, що обчислюються за допомогою отриманих величин ступеню деформації зсуву й ступені використання запасу пластичності металу при варіюванні конфігурації геометричного осередку деформації не суперечить основним закономірностям сучасної теорії обробки металів тиском. Разом з тим дані моделі якості, відрізняючись від раніше відомих тим, що отримані при реалізації розрахунків з більш широким діапазоном зміни геометричних факторів осередку деформації, у тому числі факторів, що враховують локальні особливості пластичного плину металу, характеризуються більшою вірогідністю й мають більшу область застосування.

6. Побудовані моделі можуть бути використані при розробці режимів обтиснень і калібрувань валків обтискних станів, що забезпечують інтенсивне пророблення структури металу й мінімальну ймовірність дефектоутворення в результаті порушення його суцільності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Николаев В. А. Калибровка валков для прокатки простых профилей. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 153 с.
2. Николаев В. А. Технология прокатки сортовых профилей. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 150 с.
3. Чекмарев А.П. Калибровка прокатных валков : учеб. пособие для студ. вузов. Москва : Металлургия, 1971. 509 с.
4. Паршин В.А., Зудов Е.Г., Колмогоров В.Л. Деформируемость и качество. Москва : Металлургия, 1979. 192 с.
5. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров, Г.А. Мигочев, А.А. Богатое и др. Москва : Металлургия, 1977. 336 с.
6. Воронцов В. К., Полухин П. И., Белевитин В. А., Бринза В. В. Экспериментальные методы механики деформируемых твердых тел. Москва : Металлургия, 1990. 480 с.
7. Игнатъев С.Н. Повышение качества заготовок на обжимных станах. Москва : Металлургия, 1985. 104 с.
8. Грудев А.П. Технология прокатного производства. Москва : Арт-Бизнес-Центр, 1994. 651 с.
9. Колмогоров В.Л. Напряжения. Деформация. Разрушение. Москва : Металлургия, 1970. 230 с.
10. Смирнов В. К., Шилов В. А., Инатович Ю. В. Калибровка прокатных валков : учебное пособие для вузов. Москва : Металлургия, 1987. 368 с.
11. Андреюк Л. В. , Тюленев Г. Г. Аналитические зависимости сопротивления деформации металла от температуры и степени деформации // Сталь. 1972. № 9. С. 545–547.
12. Бровман М. Я. Энергосиловые параметры и усовершенствование технологии прокатки. Москва : Металлургия, 1995. 256 с.

13. Полухин П. И. , Федосов Н. М. , Королев А. А. , Матвеев Ю. М. Прокатное производство. Москва : Металлургия, 1988. 668 с.
14. Коновалов Ю.В. Черная металлургия Донбасса ретроспектива–перспектива. В кн. Сборник научных статей.//Сб.научных работ «Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні». Краматорськ: ДДМА. 2002. С.66-73.
15. Технология прокатного производства : справочник / М. А. Беньковский, К. Н. Богоявленский, А. Н. Виткин и др. Москва : Металлургия, 1991. 423 с.
16. Бровман М. Я. , Зеличенко Б. Ю. , Герцев А. И. Усовершенствование технологии прокатки толстых листов. Москва : Металлургия, 1969. 252 с.
17. Бровман М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. Москва : Металлургия, 1991. 265 с.
18. Ефимов В. Н. , Бровман М. Я. Сопротивление деформации в процессах прокатки. Москва : Металлургия, 1996. 253 с.
19. Федоринов В. А. , Сатонин А. В. , Грибков Э. П. Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос : монография. Краматорск : ДГМА, 2010. 244 с.
20. Потапкин В. Ф. , Федоринов В. А. , Сатонин А. В. , Добронос Ю. К. Развитие методов и оборудования по экспериментальному исследованию различных технологических схем прокатки // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії. Краматорськ : ДДМА, 2005. С. 165-167.
21. Контактное трение в процессе обработки металлов давлением / А. Н. Леванов, С. П. Буркин, Б. Р. Кортаск и др. Москва : Металлургия, 1976. 416 с.

22. Соколов Л. Н. Определение интегральных показателей напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке // *Металлургия и коксохимия*. 1987. Вып. 94. С. 7–10.
23. Сатонин А. В. К расчету сопротивления деформации металлов и сплавов при их горячей прокатке // *Известия вузов. Черная металлургия*. 1999. № 4. С. 74–75.
24. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. Москва : Металлургия, 1980. 320 с.
25. Теория прокатки : справочник / А. И. Целиков, А. Д. Томленов, В. И. Зюзин и др. Москва : Металлургия, 1982. 335 с.
26. Миленин А. А. Современные методы компьютерного моделирования процессов обработки металлов давлением // Теоретические проблемы прокатного производства. Труды IV Международной научно-техн. конференции. Днепропетровск : НМЕТАУ, Металлургическая и горнорудная промышленность. 2000. № 8,9. С. 22-26.
27. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. Москва : Металлургия, 1980. 320 с.
28. Бровман М. Я. Применение теории пластичности в прокатке. Москва : Металлургия, 1991. 265 с.
29. Белевитин В. А., Смирнов Е. Н. Повышение точности и достоверности расчета параметров пластической деформации при прокатке // *наук. пр. Донец. держ. техн. ун-ту. Сер., Металлургия. Донецьк : ДонНТУ*, 2002. Вып. 10(141). С. 47-52.
30. Середа Б. П., Тумко А. Н., Коваленко А. К. Автоматизированное проектирование последовательности кантовок, коэффициента напряженного состояния по калибрам и величины обжатий в каждом проходе на блюминге // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. науч. трудов. Вып. 47. Харьков: ХПИ*, 2011. С.3-8

31. Серода Б.П., Тумко О.М., Кругляк І.В., Коваленко А.К. Розробка оптимальних режимів прокатки та після деформаційної обробки прутків зі спеціальної сталі діаметром більше 270 мм // Зб. наук. праць «Металургія». №19. 2009. С. 109-111.
32. Луценко В.А., Боровик П.В. Методика оценки загрузки калибров прокатных валков // Наукові праці ДонНТУ. Вип. 23 (185), 2011. С. 14-21.
33. Минаев А.А., Смирнов Е.Н., Григорьев М.В. Моделирование теплового состояния непрерывнолитого блюма в процессе контролируемого вторичного охлаждения // Металл и литьё Украины. №6. 2003. С.18-22.
34. Буланов Л.В., Юровский Н.А., Химич Т.Г. и др. Математическая модель и расчёт параметров мягкого обжата непрерывнолитых заготовок // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2003. №8. С. 126-130.
35. Гетманец В. В., Шевчук В. Я. Рациональный режим работы блюминга. Москва : Металлургия, 1990. 132 с.
36. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: справочник. / Пер. с нем. А. Хензель, Т. Шпигель. Москва : Металлургия, 1982. 360 с.
37. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
38. Новик Ф. С., Арсов Е. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планируемого эксперимента. Москва : Машиностроение. 1980. 265 с.
39. Булат С. И., Тихонов А. С., Дубровин А. К. Деформируемость структурнонеоднородных сталей и сплавов. Москва : Металлургия, 1975. 352с.
40. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. Москва : Металлургия, 1979. 368 с.

41. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.
42. Чепчунов Ю. П. Себестоимость проката и пути ее снижения. Москва : Металлургия, 1985. 57 с.
43. Панасейко С. П., Тарасов В. К., Павленко Ю. П. Методические указания к выполнению раздела "Охрана труда" в дипломных проектах для студентов всех специальностей. Запорожье : ЗГИА, 2002. 56 с.
44. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. Львов : Афиша, 2000. 351 с.
45. Бринза В. Н., Зиньковский М. М. Охрана труда. Охрана труда в черной металлургии. Москва : Металлургия, 1982. 336 с.