

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Розрахунок режиму прокатування сталі 30ХГСА розмірами 5,5×1300 мм на стані 1680

Виконав: студент 3 курсу, групи 6.1360 -с

Сідоров Данило Борисович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **МТЕТБ**

Ю.О. Белоконь

“ 29 ” 12 2022 року

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

Сідоров Данило Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта) Розрахунок режиму прокатування сталі 30ХГСА розмірами 5,5×1300 мм на стані 1680

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.12.2022 року №1893-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 19.06.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Визначення режиму прокатки штаб 5,5×1300 мм, сталь – 30ХГСА, стан – ШСГП 1680

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 16 слайдах (на 16 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата |
|--|---|------------------|
| | | завдання прийняв |
| <i>Загальна частина</i> | <i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i> | |
| <i>Технологічна частина</i> | <i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i> | |
| <i>Механічна частина</i> | <i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i> | |
| <i>Охорона праці та техногенна безпека</i> | <i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i> | |
| <i>Нормоконтроль</i> | <i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i> | |
| | | |

7. Дата видачі завдання 03.01.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1 | <i>Вступ</i> | <i>12-18.06.2023</i> | |
| 2 | <i>Реферат</i> | <i>12-18.06.2023</i> | |
| 3 | <i>Загальна частина</i> | <i>15-21.05.2023</i> | |
| 4 | <i>Технологічна частина</i> | <i>22-28.05.2023</i> | |
| 4 | <i>Механічна частина</i> | <i>29.05-28.05.2023</i> | |
| 5 | <i>Охорона праці та техногенна безпека</i> | <i>05-11.06.2023</i> | |
| 6 | <i>Висновки</i> | <i>12-18.06.2023</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____ Д.Б. Сідоров
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: 79 сторінки, 13 рисунків, 15 таблиць, 21 джерело.

В загальній частині описані: діючий цех, технологічний процес прокатки штаби, сортамент і технічні вимоги до готової продукції, недоліки існуючої технології і заходи щодо їхнього усунення, технологія, функції і режими роботи Койлбокса.

Метою роботи є розрахунок прокатки штаби з висолегованої марки сталі 30ХГСА на безперервному широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680. Розраховано продуктивність безперервного широкоштабового стану 1680.

Об'єкт дослідження – Потовщення кінцевих ділянок при гарячій прокатуванні сталі з балістичними властивостями.

Проблемою прокатного виробництва є підвищення точності штаби, зниження витрати метала та зниження затрати електроенергії. В значній мірі цього можна досягнути переходом на використання технологій безперервного розливу сталі, що дозволяють знизити енерго і матеріаломісткість металургійного виробництва, тобто — собівартість кінцевої продукції. Приведені результати розрахунку потовщення кінцевих ділянок високолегованої марки сталі.

В механічній частині описано конструкцію головної лінії та наведені розрахунки: валків, натискного гвинта та гайки.

В частині «Охорона праці та техногенна безпека» описані основні заходи щодо безпечних умов праці на стані.

**ПРОКАТКА, СТАН, КЛІТЬ, ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ,
РОЛЬГАНГ, ОБТИСК, ШСГП, ШТАБА, ВАЛКИ**

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 6 |
| 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА | 7 |
| 1.1 Перспективи розвитку виробництва та пропозиції щодо його вдосконалення | 7 |
| 1.2 Збільшення температури заднього кінця штаби | 14 |
| 1.3 Вплив інших факторів | 16 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА | 21 |
| 2.1 Розрахунок кінематичних параметрів стана 1680 для одержання штаби з розмірами 5,5×1300 | 21 |
| 2.3 Розрахунок техніко-економічних показників виробництва | 61 |
| 3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА | 64 |
| 3.1 Розрахунок на міцність механізмів прокатної кліті | 64 |
| 3.2 Висновки до розділу | 69 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА | 70 |
| 4.1 Характеристика потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників на ділянці цеху гарячої прокатки тонкого листа | 70 |
| 4.2 Заходи з поліпшення умов праці на ділянці ШСГП 1680 | 73 |
| ВИСНОВКИ | 77 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 78 |

ВСТУП

Сталь є основним конструкційним матеріалом. Однак з розвитком хімічної промисловості й матеріалознавства сталеві штаби змушені витримувати усе більше конкуренцію з боку нових видів продукції. Нові види продукції значною мірою задовольняють сучасним вимогам основних традиційних споживачів виробів чорної металургії - виробників транспортних засобів і машинобудівників. Для збереження свого положення на ринку конструкційних матеріалів необхідно вдосконалювання технологій, застосовуваних у виробництві штабового прокату; особливо - гарячекатаного, тому що без підвищення якості підкату не варто очікувати поліпшення характеристик холоднокатаної штаби й іншої продукції наступних переділів. В останні п'ятнадцять років намітилися нові напрямки розвитку технології гарячої прокатки.

Результатом стало як подальше вдосконалювання широкоштабових прокатних станів, так і впровадження поєднаних процесів лиття - прокатки й поява розробок в галузі безперервного лиття штаби. Розвиток автоматичних систем керування й контролю дозволило не тільки почати втілення в життя ідей, що вважалися раніше нездійсненними - як безперервне розливання тонкої сталевий штаби у двох роликівих кристалізаторах. Металургійні підприємства одержали можливість формувати свій парк обладнання відповідно до реальних потреб ринків, на які вони працюють, і тим самим скоротити споживання енергії й інших ресурсів і капітальні витрати.

Широкоштабові стани гарячої прокатки мають ряд переваг: це висока продуктивність (до 5 млн. тон на рік і вище), висока технологічна гнучкість і здатність забезпечувати значні обтиснення.

На світовому ринку гарячекатаного металу в основному представлена штаба шириною від 600 до 2000 мм, товщиною від 1,25 до 25 мм. До 96% європейського ринку належить вуглецевим і легко деформуючим маркам сталей.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Перспективи розвитку виробництва та пропозиції щодо його вдосконалення

На більшості ШСГП штаби прокочують по схемі: злиток - сляб - рулон. В цьому випадку маса рулону практично дорівнює масі сляба. На ШСГП 1680 в ряді випадків штаби прокочують по схемі злиток - сляб - поділ на дві частини масою 4,2 - 7,5 т - рулон. При транзитній прокатці на смугу проміжний гуркіт №1 перед чистовим окалиноломателем має температуру переднього кінця на 10 - 25 ° С, а гуркіт №2 - на 25 - 35 ° С більше, ніж температура на задньому кінці розкату (табл. 1.1). При прокатці розкату подвійної маси градієнт температури по його довжині значно більше і складає $\Delta t = 30 - 65$ ° С (прокатка без Койлбокс).

При прокатці з Койлбокс середня температура проміжного гуркоту збільшується на 15 - 35 ° С, а градієнт температур по його довжині зменшується до 15 - 30 ° С. Останнє позначається на температурі штаби після кліті №10.

Таблиця 1.1 - Температура проміжного розкату товщиною $H_p = 23 - 28$ мм перед чистовим окалиноломателем на кінцевих ділянках його довжини

| Схема прокатки, маса сляба | Без койлбокса, °С | | Δt , °С | С койлбоксом, °С | | Δt , °С |
|----------------------------|-------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| | $t_{\text{п}}$ | $t_{\text{з}}$ | | $t_{\text{п}}$ | $t_{\text{з}}$ | |
| Одинарный №1 | 1045 | 1035 | 10 | 1075 | 1060 | 16 |
| | 1085 | 1060 | 25 | 1115 | 1090 | 25 |
| Одинарный №2 | 1060 | 1035 | 25 | 1055 | 1040 | 15 |
| | 1085 | 1050 | 35 | 1100 | 1080 | 20 |
| Двойной массы | 1060 | 1030 | 30 | 1090 | 1070 | 20 |
| | 1120 | 1055 | 65 | 1120 | 1090 | 30 |

При прокатці з Койлбокс середня температура проміжного гуркоту збільшується на 15 - 35 ° С, а градієнт температур по його довжині зменшується до 15 - 30 ° С. Останнє позначається на температурі штаби після кліті №10.

Таблиця 1.2 - Температура готової штаби при різних схемах прокатки.
(Дані меткомбінату «Запоріжсталь»)

| Рулоны | h, мм | Без койлбокса, °С | | С койлбоксом, °С | |
|-----------|-----------|-------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | t _п | t _з | t _п | t _з |
| Одинарные | 3,0 – 5,0 | 870 | 883 | 896 | 890 |
| Двойные | 3,5 | 920 | 875 | - | - |
| | 2,5 | 896 | 865 | 863 | 863 |
| | 2,0 | 868 | 836 | 836 | 842 |

З табл. 1.2 випливає, що при прокатці штаб товщиною $h = 3 - 5$ мм наявність Койлбокс сприяє деякому підвищенню середньої температури прокатки при незначному градієнті температур по довжині штаби (початковий період експлуатації). При прокатці смуг завтовшки $h = 2 - 2,5$ мм без Койлбокс градієнт температур по довжині штаби становить $\Delta t \approx 30$ ° С, а з Койлбокс - $\Delta t = 0 - (-6$ ° С) при деякому зниженні середньої температури переднього кінця штаби .

Останнє обумовлено тим, що передній кінець готової штаби формується з заднього кінця проміжного гуркоту. Велика температура заднього кінця готової штаби (менші теплові втрати в процесі прокатки) обумовлює зниження товщини штаби на ділянці 2 - 3 (рис. 3.4). Збереження температури заднього кінця штаби забезпечує також суттєве зменшення товщини штаби на ділянці 3 - 4 (до $\delta h_p \approx 0,07 - 0,12$ мм). Прокатка штаб із застосуванням Койлбокс не усуває потовщення штаби на задньому кінці, хоча довжина його трохи зменшується. Коливання товщини штаби на ділянці 1 - 3 істотно і становить $\delta h_p = 0,03 - 0,08$ мм, що обумовлено наявністю поздовжньої різнотовщинності гуркоту після чорної групи клітей,

нерівномірністю механічних властивостей штаби по довжині, зміною напруг натягу штаби, биттям валків.

З викладеного вище матеріалу випливає, що під час гарячої прокатки смуг застосування додаткового обтиску заднього ділянки штаби, прискорення валків в клітках чистової групи, використання ППУ в лінії проміжного рольганга дозволяють дещо зменшити загальну величину поздовжньої різнотовщинності гарячекатаних смуг, однак, не усувають повністю кінцеві потовщення, особливо на задньому кінці штаби.

Для теоретичного аналізу впливу на кінцеве потовщення δ_{hp} і енергосилові параметри прокатки розглянуті наступні технічні рішення, які можуть бути здійснені в технологічному процесі без помітних матеріальних витрат, в основному шляхом вдосконалення технологічного процесу конкретного ШСГП:

1. Застосування раціональної товщини проміжного гуркоту для чистової групи клітей.
2. Зміна товщини проміжного гуркоту на кінцевих ділянках.
3. Відключення охолоджувача в клітках чистової групи при прокатці заднього ділянки штаби.
4. Застосування раціональних величин додаткових обтиснень ділянки заднього кінця розкату в клітках стану (крім останньої кліті).
5. Застосування калібрувальної кліті перед чистовою групою клітей.
6. Регулювання зусилля гідроізгіба (урівноваження) робочих валків для зміни міжвалкового зазору і товщини штаби.
7. Застосування переднього натягу штаби в кліті №10 з метою впливу на параметри процесу прокатки.
8. Застосування технологічного мастила в останніх клітках стану при прокатці заднього ділянки штаби.

Більш ефективним технічним рішенням, що забезпечує помітне зниження товщини кінцевої ділянки штаби при незначному збільшенні енерговитрат є застосування проміжного гуркоту зі змінною по довжині

товщиною. Різні умови деформації гуркоту на різних ділянках довжини забезпечують відповідну зміну температури, енергосилових параметрів прокатки і пружних деформацій кліті, а, отже, і товщини штаби. Змінну товщину проміжного гуркоту можна отримати шляхом прокатки розкату на клин в останній кліті чорнової групи.

Номінальними для порівняння прийняті умови прокатки штаби з проміжного гуркоту, з постійною по довжині товщиною, рівній $H_p = 20$ мм. На підставі розрахунків встановлено, що завдяки збільшенню температури більш товстого кінця розкату на ділянці 4 ($H_p = 22$ мм), потовщення заднього кінця готової штаби зменшується з $\delta h_p = 0,162$ мм ($H_p = 20$ мм) до $\delta h_p = 0,11$ мм ($H_p = 20$ мм), тобто на $\sim 32,3\%$. [23, 24, 25]

У практиці виробництва широкоугового сталі для зменшення кінцевого потовщення в клітях чистової групи ШСГП застосовують додаткове обтиснення ΔS ділянки 4 штаби (рис. 1.1). Для умов прокатки на ШСГП 1680 Ю.В. Коновалов [8] рекомендував наступний режим додаткового обтиску заднього кінця ΔS (по продуктіметру, мм) в клітях стану: №6 - 0,6; №7 - 0,45; №8 - 0,3; №9 - 0,2. Сумарне додаткове обтиснення по продуктіметру становить $\Sigma \Delta S = 1,55$ мм. Дійсне додаткове обтиснення по продуктіметру при прокатці штаби 2×1250 мм одно $\Sigma \Delta S_{5-9} = 1,2 - 1,35$ мм. При цьому, розрахунковий модуль жорсткості штаби по клетям №5 - 9 змінюється в межах $M_p \approx 2,0 - 10,0$ МН / мм, а коефіцієнт передачі обтиску до штаби $k_s \approx 1,9 - 4,0$ ($k_s = \Delta S_i / \Delta h_{di}$). Для таких умов деформації ділянку 4 штаби отримує фактичне сумарне додаткове обтиснення безпосередньо в межах $\Sigma \Delta h_d (5-9) = 0,4 - 0,5$ мм, а кінцеве потовщення на ділянці 4 після кліті №10, у відповідність з розрахунками, виявилось рівним $\delta h_p = 0,162$ мм (рис. 1.3, а) проти $\delta h_p = 0,2$ мм при прокатці ділянки 4 з $\Sigma \Delta h_d (5-9) = 0$. тобто застосовується на стані сумарне додаткове обтиснення ділянки 4 дозволяє зменшити величину кінцевого потовщення готової штаби на 0,038 мм або на 19%. Як бачимо, ступінь зменшення величини кінцевого потовщення істотна, але очевидно, недостатня.

З розрахунків випливає ($\Delta t_5 = 60 \text{ }^\circ \text{C}$), що параметр δ_{hp} для всіх клітей змінюється лінійно залежно від сумарного фактичного додаткового обтиску ділянки 4 штаби. При додатковому сумарному обтисненні ділянки 4 в клітях №5 - 9 рівному $\Sigma\Delta hd (5-9) = 1,0$ мм кінцеве потовщення на ділянці 4 зменшується в кліті №5 з $\delta_{hp} \approx 0,48$ мм ($\Sigma\Delta hd (5-9) = 0$) до $\delta_{hp} = 0,3$ мм, а в кліті №10 це зменшення, відповідно, становить з $\delta_{hp} \approx 0,2$ мм до $\delta_{hp} \approx 0,11$ мм (рис. 1.2). Таке зменшення δ_{hp} істотно і товщина штаби по всій довжині відповідає нормативним допускам, але сама величина $\delta_{hp} \approx 0,11$ мм значно перевищує величини δ_{hp} на основній довжині штаби, де $\delta_{hp} = 0,03 - 0,05$ мм.

Для повного усунення на готовій смузі кінцевого потовщення на ділянці 4 ($\delta_{hp} = 0$) необхідно додатково деформувати цю ділянку на $\Sigma\Delta hd (5-9) \approx 2,3$ мм, що в ~ 5 разів більше, ніж при серійної технології. При такому режимі деформації ділянки 4 штаби величини додаткових обтиснень в останніх клітях стану будуть сумірні з основними обтисканнями, що викличе відповідне збільшення енергосилових параметрів. Однак, робоча швидкість переміщення натискних гвинтів під навантаженням становить всього $v_n = 0,07$ мм / с (при холостому ході $v_{nh} = 0,13$ мм / с). Ця швидкість недостатня для необхідного зміни міжвалкового зазору з метою додаткового обтиску заднього кінця штаби. Так, для переміщення натискних гвинтів в перших клітях чистової групи на $\Delta S = 1,0$ мм потрібно

$$\tau = \Delta S / v_n = 1,0 / 0,07 = 14,3 \text{ с,}$$
 що істотно більше часу прокатування ділянки штаби в зазначених клітях.

На кінцеве потовщення ділянки 4 істотно впливає градієнт температур Δt_5 по довжині проміжного гуркоту. При зменшенні градієнта Δt_5 з $60 \text{ }^\circ \text{C}$ до $0 \text{ }^\circ \text{C}$ товщина ділянки 4 за відсутності додаткового обтиску ($\Sigma\Delta hd (5-9) = 0$) зменшується з $\delta_{hp} = 0,2$ мм до $\delta_{hp} = 0,03$ мм. При $\Delta t_5 = 30 \text{ }^\circ \text{C}$ і $\Sigma\Delta hd (5-9) = 0$ товщина ділянки 4 штаби на $\delta_{hp} = 0,11$ мм перевищує товщину штаби на ділянці 2 (рис. 1.2, б). Застосування додаткового обтиску в межах $\Sigma\Delta hd (5-9) = 0,45$ мм (існуючий режим) сприяє зменшенню кінцевого потовщення на $0,05$ мм.

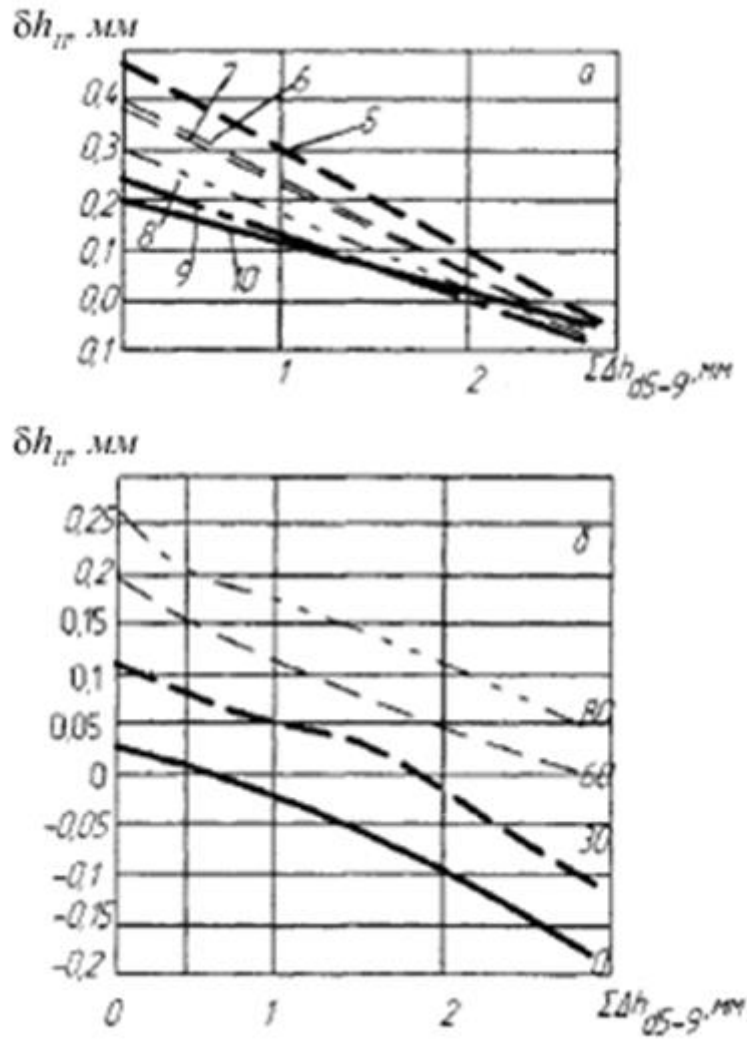


Рис. 1.1.4.3. Зміна кінцевого потовщення на ділянці 4 заднього кінця залежно від сумарного додаткового фактичного обтиску по клітям стану (а) і параметра Δt_5 (б) (числа у кривих) для кліті №10.

При $\Delta t_5 = 0$ задній кінець штаби (ділянка 4) можна прокатувати без додаткового обтиску, а при $\Delta t_5 = 30^\circ \text{C}$ при прокатці штаби необхідно застосувати додаткове обтиснення ділянки 4 на задньому кінці штаби. При існуючому режимі прокатки з $\Delta t_5 = 30^\circ \text{C}$ (прокатка з застосуванням Койлбокс) відповідно до розрахунків, збільшення товщини штаби на ділянці 4 становить $\delta h_p \approx 0,07$ мм. У практичних умовах роботи стану з Койлбокс при прокатці тонких смуг з слябів довжиною $L = 9 - 9,5$ м величина кінцевого потовщення досягає $\delta h_p = 0,12 - 0,15$ мм, внаслідок збільшення градієнта температур по довжині проміжного гуркоту.

Існуюче сумарне у всіх клітях додаткове обтиснення заднього кінця (ділянка 4) в межах $\Delta h_d (5-9) = 0,4 - 0,5$ мм не забезпечує усунення кінцевого потовщення при градієнті температур Δt_5 по довжині проміжного гуркоту рівному і більше 30°C . Збільшення додаткового обтиску в клітях чистової групи можна здійснювати лише при оснащенні кліті подібних станів гідравлічними нажимними пристроями.

У зв'язку з актуальністю підвищення точності по довжині гарячекатаної штаби, нижче пропонуються інші технічні рішення, які можуть бути використані в практичних умовах на широкосмугових станах.

При прокатці смугової сталі наявність різниці температур Δt_5 по довжині проміжного гуркоту (менша температура на задньому кінці розкату) і відсутність натягу заднього кінця штаби у всіх клітях чистової групи завжди є причиною утворення кінцевого потовщення на довжині 20 - 30 м готової штаби. Це кінцеве потовщення в реальних умовах існує при прокатці смуг в чистовий групі з прискоренням валків, і при використанні Койлбокс, і при додатковому обтисненні заднього кінця гвинтовими нажимними пристроями.

Основну роль у формуванні величини кінцевого потовщення відіграє відсутність заднього натягу штаби, внаслідок чого відбувається збільшення сили прокатки на ділянці 4, збільшення міжвалкового зазору і товщини штаби. Таким чином, відсутність заднього натягу кінця штаби надає локальна дія на товщину ділянки 4. Очевидно, для компенсації збільшення сили прокатки на ділянці 4 внаслідок відсутності заднього натягу, необхідно використовувати відповідні технічні рішення. До таких рішень можна віднести:

- 1) збільшення температури заднього кінця проміжного розкату на довжині 4 - 5 м шляхом відключення води гідрозбиву окалини в чистовому окаліноломателе;
- 2) прокатку заднього кінця штаби при короткочасному зменшенні кількості води, яка подається на валки клітей чистової групи;

3) під час прокатки заднього кінця штаби зменшувати силу противозгибу (додаткового вигину) робочих валків в проміжних клітках чистової групи;

4) застосування різнотовщинності по довжині проміжного гуркоту з більшою товщиною заднього кінця;

5) зменшення коефіцієнта тертя при прокатці заднього кінця штаби в останніх клітках чистової групи шляхом подачі на валки технологічного мастила.

1.2 Збільшення температури заднього кінця штаби

Збільшення температури заднього кінця розкату (штаби) шляхом, наприклад, збільшення його товщини, забезпечує деяке зниження сили прокатки і кінцевого потовщення в порівнянні з прокаткою гуркоту з меншою товщиною і температурою. Однак, ефект підвищення температури заднього кінця розкату зменшується за рахунок інтенсивного охолодження валків водою.

Помітне зменшення кінцевого потовщення забезпечується підвищенням температури заднього кінця розкату за рахунок усунення води при відключенні гідрозбиву після чистового окаліноломателя, на довжині заднього кінця розкату в межах 4 - 5 м [2]. За рахунок відбору тепла від гуркоту водою гідрозбиву втрати температури становлять 15 - 18 ° С. Відповідно до збільшення температури заднього кінця і зменшення градієнта температур по довжині розкату відбувається деяке зменшення кінцевого потовщення. Так, при $\Delta t_5 = 60$ ° С і $\Delta t_5 = 45$ ° С (при відключенні гідрозбиву чистового окаліноломателя) за даними [8] для штаби 2x1250 мм кінцеве потовщення зменшується в клітках №5 і №10 відповідно на ~ 0,12 мм і ~ 0,035 мм.

На рис. 1.3 представлені розрахункові величини кінцевого потовщення δ_{hp} на ділянці 4 в залежності від Δt_5 по клетям стану 1700 (1680) під час

прокатки штаби 2×1250 мм. Розрахунки виконані за моделлю, розглянутої в розд. 1, 2. З рис. 1.3 випливає, що при $\Delta t_5 = 0$ (застосування ППУ), кінцеві потовщення штаби в кліті №5 одно $\delta_{hp} = 0$. У клітях №6 - 7 в результаті охолодження штаби спостерігається збільшення кінцевого потовщення до $\delta_{hp} \approx 0,10$ мм зі зменшенням в кліті №10 до $\delta_{hp} \approx 0,05$ мм. При прокатці проміжного гуркоту з градієнтом температур по довжині $\Delta t_5 = 60^\circ \text{C}$ кінцеве потовщення на ділянці 4 в кліті №5 одно $\delta_{hp} \approx 0,365$ мм, а в кліті №10 - $\delta_{hp} \approx 0,22$ мм. При зменшенні градієнта температур по довжині розкату на $\sim 15^\circ \text{C}$ ($\Delta t_5 = 45^\circ \text{C}$) кінцеве потовщення на ділянці 4 в клітях №5 і 10 відповідно становить 0,285 мм і 0,17 мм, що досить близько до даних [8]. Таким чином, при відключенні гідрозбиву окалини на задньому кінці розкату зменшення кінцевого потовщення на ділянці 4 складе 0,05 мм, а абсолютне кінцеве потовщення для готової штаби даного розміру дорівнюватиме $\delta_{hp} \approx 0,17$ мм. У тому випадку, якщо задній кінець розкату на ділянці 4 буде мати товщину більшу, ніж $H_p = 20$ мм можна отримати додаткове зменшення кінцевого потовщення після кліті №10 в межах: при $H_{p4} = 24$ мм - 0,03 мм і при $H_{p4} = 25$ мм - 0,04 мм. Отже, під час прокатки проміжного гуркоту з потовщенням заднього кінця на ділянці 4 до $H_{p4} = 25$ мм і відключенні гідрозбиву окалини на ділянці 4 можна зменшити товщину кінцевого потовщення на смузі 2×1250 мм на 0,102 мм і отримати абсолютне значення кінцевого потовщення в межах $\delta_{hp} \approx 0,05$ мм, що відповідає коливанням товщини штаби на основний її довжині.

Більш ефективним може бути процес прокатки ділянки 4 штаби при короткочасному частковому (повному) відключенні подачі води на смугу у всіх або 2-4х останніх клітях чистої групи ШСГП перед входом заднього кінця в відповідну кліть. Для здійснення такого процесу кожна кліть (або кожні дві кліті) повинні бути обладнані відсікачами води, що працюють в автоматичному режимі. Подачу води відновлюють після виходу заднього кінця з відповідною кліті.

У технологічному процесі, в якому застосовують межклетевое охолодження штаби на задній кінець штаби (ділянка 4) слід подавати меншу кількість води.

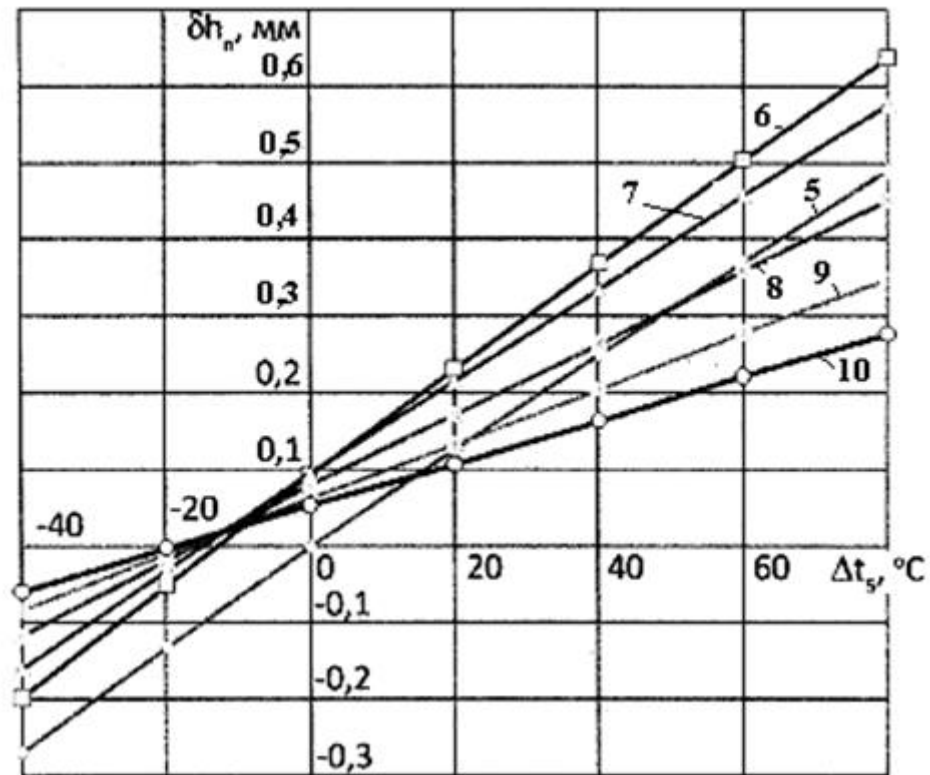


Рисунок 1.1 - Вплив перепаду температур між ділянками 2 і 4 проміжного гуркоти на кінцеве потовщення.

1.3 Вплив інших факторів

Одним із способів зниження кінцевого потовщення є вплив гідрораспора робочої кліті [26, 8, 18]. У цьому способі основну довжину штаби прокатують при зусиллі, а задній кінець на ділянці 3 - 4 (рис. 1.1) прокатують при $Q \rightarrow$ Про і $PQ = P$, де P - сила власне прокатки; Q - сила гідрораспора кліті; PQ - повна силове навантаження на кліть.

При $Q \rightarrow$ Про за рахунок зменшення розтягування стійок кліті відбувається відповідна пластична деформація штаби без зміни сили на кліть, тобто $PQ = P$. Реалізація цього способу вимагає оснащення кліті (або декількох клітей) спеціальною системою гідравлічного впливу на подушки

опорних валків, що вимагає істотних витрат і ускладнює обслуговування стану.

В роботі [8] зазначається, що ефект гідрораспора кліті може бути отриманий при наявності протизгибу робочих валків в декількох останніх клітях чистової групи. Такі пристрої є на всіх ШСГП. У цьому способі штабу на ділянці 1 - 3 (рис. 1.1) прокочують при максимальних (необхідних) значеннях Q_{1-3} , а на ділянці 3 - 4 виробляють скидання тиску в системі гідроізгіба до $Q_{3-4} \approx 0$. За рахунок пластичної деформації товщина її на ділянці 3 - 4 і кінцеве потовщення відповідним чином зменшуються.

Вплив сили протизгибу теоретичним шляхом оцінювали для випадку прокатки штаби 2×1250 мм стосовно до широкосмугового стану 1700 (1680) гарячої прокатки для чистової групи клітей № 5 - 10. У практичних умовах для регулювання міжвалкового зазору застосовують сили гідравлічного вигину валків в межах $Q \leq 0,2 P$. Розрахунки сили гарячої прокатки виконували за моделями (див. розділ 2), а приріст товщини штаби (поздовжнє разнотолщинність) ітераційним методом. Зусилля Q_i клітях № 5-10 змінювали в межах $Q_i = (0-0,2) P$ ($nQ = 0-0,2$). Часткові результати теоретичних досліджень наведені в табл. 1.3. У табл. 1.3 ділянку 2 відповідає переднього кінця штаби з мінімальною товщиною, що прокочується з переднім і заднім натягом, а ділянка 4 - заднього кінця штаби, який має меншу температуру і прокочується без заднього натягу. Ділянка 2 прокочується при силі $P_n = P_2$ і зусиллі протизгибу $Q = Q_2 = nQ_i P_i$ ($nQ_n = 0,2$). Відповідно до цієї умови приймаємо для розрахунку приросту товщини штаби на ділянці 4 сили протизгибу, рівні $Q_i = nQ_i P_i$ ($nQ_i = 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$). При цьому, для $Q_2 = \text{const}$ при максимальному значенні Q_i (nQ_i) і, отже, максимальному упругому розтягуванні стійок станини отримуємо максимальне збільшення товщини штаби на ділянці 4. Так, для кліті №5 при $Q_n = 0,2 P_n$ ($nQ_2 = 0,2$) і $nQ_4 = 0,2$ приріст товщини штаби на ділянці 4 в кліті №5 склало $\delta h_p = 0,496$ мм проти $\delta h_p = 0$ на ділянці 2 (табл. 1.3). Усунення сили протизгибу робочих валків при прокатці ділянки 4 ($nQ_4 =$

0) забезпечує практично повне усунення поздовжньої різнотовщинності (збільшення товщини штаби на ділянці 4) $\delta_{hp} = 0,057$ мм (зменшення $\sim 90\%$). У кліті №10 приріст товщини штаби усувається повністю (з $\delta_{hp} = 0,292$ до $\delta_{hp} = -0,017$ мм). Відповідно до розрахунків, для прийнятого режиму деформації зусилля протівозгибу на $nQ_4 = 0,01$ призводить до зміни товщини штаби на $\delta_{hp} = 0,013 - 0,024$ мм. Менше значення відноситься до чистової кліті №10, де менше сила прокатки. При прокатці штаби з однаковими значеннями $Q_n = Q_i = 0,2P$ приріст δ_{hp} товщини штаби на ділянці 4 в порівнянні з ділянкою 2 відбувається внаслідок меншої температури металу і відсутність заднього натягу.

Сила протівозгибу для робочих валків створюється гідравлічною системою, яка подає масло під плунжер циліндрів в подушках робочих валків. Максимальний тиск масла $q = 30$ МПа. При наявності чотирьох плунжерів діаметром $d = 105$ мм максимальна сила протівозгибу дорівнюватиме $Q = 0,104$ МН, яке при діючих силах на валки (табл. 1.3) є недостатнім для отримання ефективного зниження поздовжньої різнотовщинності штаби. Підвищення сили Q на шийки робочих валків забезпечується впливом на них пристроями клинового типу, [27, 28] які дозволяють досягати значень $Q \geq 0,2P$.

При регулюванні товщини штаби гідроізгібом відсутня додатковий знос деталей натискних пристроїв і знижується витрата електроенергії на привід натискних пристроїв. В реальних умовах прокатки очевидно, доцільно виконувати регулювання товщини штаби в перших клітях чистової групи за допомогою додаткового обтиску нажтмними пристроями, а в останніх двох-трьох клітях, пристроєм гідроізгібу робочих валків.

| Параметр | Участок 2 при $n_{Q2} = 0,2$ | $n_{Q4} =$ 0 | $n_{Q4} =$ 0,05 | $n_{Q4} =$ 0,1 | $n_{Q4} =$ 0,15 | $n_{Q4} =$ 0,2 |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| H, мм | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| h, мм | 13,000 | 13,057 | 13,172 | 13,283 | 13,392 | 13,496 |
| Δh , мм | 7,000 | 6,943 | 6,828 | 6,717 | 6,608 | 6,504 |
| ϵ | 0,350 | 0,347 | 0,341 | 0,336 | 0,330 | 0,325 |
| δh_n , мм | 0,000 | 0,057 | 0,172 | 0,283 | 0,392 | 0,496 |
| v, м/с | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 |
| t_{cp} , °C | 946 | 872 | 873 | 873 | 873 | 873 |
| f | 0,366 | 0,380 | 0,379 | 0,378 | 0,377 | 0,376 |
| u, с ⁻¹ | 10,8 | 10,8 | 10,7 | 10,6 | 10,5 | 10,4 |
| σ_f , Н/мм ² | 152,5 | 181,0 | 180,1 | 179,3 | 178,6 | 177,8 |
| l_c , мм | 47,41 | 47,40 | 47,01 | 46,62 | 46,24 | 45,87 |
| P_{cp} , Н/мм ² | 257,0 | 313,0 | 309,3 | 305,7 | 302,5 | 299,2 |
| P, МН | 15,23 | 18,55 | 18,17 | 17,82 | 17,49 | 17,15 |
| M_n , МН/мм | 1,87 | 2,29 | 2,27 | 2,25 | 2,24 | 2,22 |

Таблиця 1.1.6.1. Параметри деформації смуг 2×1250 мм з підкату $H_p = 20$ мм при різних значеннях сили протизгибу на ділянці 4. Кліть 5.

Одним з ефективних способів зниження сили деформування при обробці металів тиском є раціональне використання технологічних мастил [22, 29, 30, 31]. Результати дослідження впливів технологічного мастила на знос валків і енергосилові параметри прокатки смуг наведені в роботах А.П. Грудєва і ін. [22, 32]. Автори встановили, що використання технологічного мастила забезпечує створення в осередку деформації шару мастила і, разом з цим, зниження коефіцієнта тертя і енергосилових параметрів прокатки. Так, за даними лабораторних досліджень суміші води і легкого мінерального масла, встановлено, що коефіцієнт тертя зменшується на $\sim 25\%$ (концентрація 7,5%), а при використанні водних розчинів мив (калієвое, натрієвое, літієве з концентрацією до 10%) забезпечується зниження коефіцієнта тертя на $\sim 40\%$.

Дослідження виконані при подачі технологічного мастила на валки клітей №5 - 6, ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь» підтвердили результати лабораторних досліджень. Заміри енергосилових параметрів

показали, що при прокатці смуг завтовшки 2 - 3 мм з маловуглецевої сталі, наявність технологічної мастила в осередку деформації забезпечує зменшення в клітках №5, 6 сили прокатки на 5,8 - 12,2%, а крутного моменту - на 10,6 - 16,6%. За рахунок залишаються на смузї продуктів горіння мастила знижується зусилля прокатки на 4,3 - 7,0% і в клітці №7 [22].

Ефект впливу технологічної мастила на умови тертя в осередку деформації і зниження сили прокатки пропонується використовувати для додаткової деформації металу на кінцевих стовщеннях ділянки 4 штаби (рис. 1.1) в клітках №8 - 10 (в останніх трьох клітках ШСГП). Розрахунки показують, що зменшення коефіцієнта тертя на 20% дозволяє зменшити силу прокатки в кожній клітці на 5 - 7%, що цілком достатньо для усунення потовщення на ділянці 4 (рис. 1.1) штаби. Маючи на увазі, що технологічна мастило частково залишається на валках, то і передній кінець подальшої штаби (ділянка 1) отримає додаткове обтиснення в порівнянні з обтисненням ділянки 2, де дія мастила вже не буде проявлятися. При відсутності очисних споруд технічної води, технологічну мастило на валки клітей №7 - 10 слід подавати перед виходом заднього кінця розкату з першої клітці чистової групи. Таким чином, виконана теоретична оцінка ефективності впливу різних технологічних факторів на зменшення товщини заднього кінця штаби, що прокочується без заднього натягу. Методи впливу на товщину заднього кінця штаби, як показано розрахунками, становлять інтерес не тільки для вдосконалення технології прокатки на станах старої конструкції, а й для ширококутових станів гарячої прокатки останніх поколінь, на яких 1 - 2% довжини штаби прокочують з товщиною перевищує товщину на основний довжині більш, ніж на $\delta h_p = 0,05$ мм.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок кінематичних параметрів стана 1680 для одержання штаби з розмірами 5,5×1300

Вихідний сляб $H = 150$ мм.

Розрахунки припустимих кутів захвату.

$$D = 0.92D_p$$

$$1 \text{ кліть } D = 0.92 \cdot 940 = 865 \text{ мм}$$

$$2 \text{ кліть } D = 0.92 \cdot 810 = 745 \text{ мм}$$

$$3 \text{ кліть } D = 0.92 \cdot 580 = 533 \text{ мм}$$

$$4 \text{ кліть } D = 0.92 \cdot 590 = 543 \text{ мм}$$

Допустимо, що мінімально можлива температура при в ході в чорнову групу клітей буде дорівнювати $t = 1100$ °С. 1-2 кліть твердість поверхні робочих валків 40HSD.

Тому що в чорновій групі клітей процес прокатки не є безперервним те швидкості прокатки не залежать від закону сталості обсягу [14].

$$V_{\text{дуо}} = 0,99 \text{ м/с}, v_1 = 1.05 \text{ м/с}, v_2 = 1,1 \text{ м/с}, v_3 = 1,6 \text{ м/с}, v_4 = 2,2 \text{ м/с}.$$

Кліть ДУО

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_\varepsilon \quad k_m = 1$$

$$k_t = 1 + 0.43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 \quad k_v = 0.76 + 0.82(1 + 0.1v)^2$$

$$k_b = 1 \div 1.1, k_{cm} = 1, k_m = 1, k_\varepsilon = 1$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{1120}{400} - 2 \right)^2 = 0,221$$

$$k_v = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 1.05)^2 = 1.175$$

$$k_T = 1 + 0.43 \left(1 - \frac{40}{65} \right)^2 = 0,602$$

$$f_{ДVO} = 0.221 \cdot 1.06 \cdot 1.42 \cdot 0.95 = 0.397$$

1-2 КЛІТЬ

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_\varepsilon \quad k_m = 1$$

$$k_t = 1 + 0.43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 \quad k_v = 0.76 + 0.82(1 + 0.1v)^2$$

$$k_b = 1 \div 1.1, k_{cm} = 1, k_m = 1, k_\varepsilon = 1$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{1100}{400} - 2 \right)^2 = 0,213$$

$$k_{v_1} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 1.05)^2 = 1.42$$

$$k_T = 1 + 0.43 \left(1 - \frac{40}{65} \right)^2 = 1.06$$

$$f_1 = 0.213 \cdot 1.06 \cdot 1.42 \cdot 0.95 = 0.305$$

$$k_{v_2} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 1.1)^2 = 1.36$$

$$f_2 = 0.213 \cdot 1.06 \cdot 1.36 \cdot 0.95 = 0.291$$

3-4 КЛІТЬ.

Твердість валків 70HSD $t^\circ = 1090^\circ\text{C}$.

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_\varepsilon \quad k_m = 1$$

$$k_b = 1 \div 1.1, k_{cm} = 1, k_m = 1, k_\varepsilon = 1$$

$$f_{03} = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{1090}{400} - 2 \right)^2 = 0.217$$

$$k_{v3} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 1.6)^2 = 1.34$$

$$f_3 = 0.217 \cdot 1 \cdot 1.34 \cdot 0.95 = 0.276$$

$$f_{04} = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{1076}{400} - 2 \right)^2 = 0.222$$

$$k_{v4} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 2.2)^2 = 1.26$$

$$f_4 = 0.222 \cdot 1 \cdot 1.26 \cdot 0.95 = 0.266$$

Коефіцієнт тертя при захваті розкату $k_3 = 1,35$

$$f_3 = f \cdot k_3$$

$$f_{3_{ДВО}} = 1,35 \cdot 0,26 = 0,351$$

$$f_{3_1} = 1,35 \cdot 0,26 = 0,351$$

$$f_{3_2} = 1,35 \cdot 0,25 = 0,337$$

$$f_{3_3} = 1,35 \cdot 0,25 = 0,337$$

$$f_{3_4} = 1,35 \cdot 0,26 = 0,351$$

обтиснення, що допускаються

$$[\Delta h] = R \cdot f_3^2$$

$$[\Delta h_{ДВО}] = 210 \cdot 0.351^2 = 25 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_1] = 432.4 \cdot 0.351^2 = 53.2 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_2] = 372 \cdot 0.337^2 = 42,3 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_3] = 266.5 \cdot 0.337^2 = 30.2 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_4] = 271.5 \cdot 0.351^2 = 33.4 \text{ мм}$$

Становимо таблицю попередніх обтиснень

$$H = 150 \text{ мм}, \Delta h_{\text{ок}} = 25 \text{ мм}, h_{\text{ок}} = 150 - 25 = 125 \text{ мм}$$

$$\Delta hi / \Delta h\Sigma = 0.106 + 0.086(4 - ni)^{0.9}$$

$$\Delta h1 / \Delta h\Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 1)^{0.9} = 0,36$$

$$\Delta h2 / \Delta h\Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 2)^{0.9} = 0,316$$

$$\Delta h3 / \Delta h\Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 3)^{0.9} = 0,2$$

$$\Delta h4 / \Delta h\Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 4)^{0.9} = 0,106$$

$$h_{\text{нп}} = 20 \text{ мм.}$$

$$H_1 - h_4 = \Delta h\Sigma = 135 - 23 = 115 \text{ мм}$$

$$\Delta hi = \Delta h\Sigma \cdot \left(\frac{\Delta hi}{\Delta h\Sigma} \right)$$

$$\Delta h_1 = 0.36 \cdot 115 = 41,4 \text{ мм}$$

$$\Delta h_2 = 0.316 \cdot 115 = 36,34 \text{ мм}$$

$$\Delta h_3 = 0.2 \cdot 115 = 25,07 \text{ мм}$$

$$\Delta h_4 = 0.106 \cdot 115 = 12,19 \text{ мм}$$

Чистова група клітей

Кліть 5

1. Визначаємо температуру штаби

Розраховуючи температуру, початкову беремо за даних меткомбінату “Запоріжсталь”

Таблиця 2.1 Температура штаби перед першою кліттю чистової групи.

| Схема прокатування, вага слябу | Без койлбокса, °C | | Δt , °C | з койлбоксом, °C | | Δt , °C |
|--------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|-----------------|
| | t_{Π} | t_{Σ} | | t_{Π} | t_{Σ} | |
| Оди́нарний №1 | 1045 | 1035 | 10 | 1075 | 1060 | 16 |
| | 1085 | 1060 | 25 | 1115 | 1090 | 25 |
| Оди́нарний №2 | 1060 | 1035 | 25 | 1055 | 1040 | 15 |
| | 1085 | 1050 | 35 | 1100 | 1080 | 20 |
| Двійна вага | 1060 | 1030 | 30 | 1090 | 1070 | 20 |
| | 1120 | 1055 | 65 | 1120 | 1090 | 30 |

Розрахунок температури металу виконуємо з використанням рекомендацій робіт [1 - 4].

Температура штаби перед наступною кліттю дорівнює:

$$t_{i+1} = t_i - \Delta t_{ui}$$

Температура заднього кінця проміжного розкату при вході в першу кліть чистової групи дорівнює:

$$t'_{i3} = t'_1 - \Delta t_{\Pi}$$

$$t'_{i3} = 1064 - 80 = 984^{\circ}\text{C}$$

Втрата тепла тонких штаб в межклетьових ділянках чистової групи:

$$\Delta t_{ui} = 20.7 \frac{(t_i + 273)^4 \cdot L_{pi}}{u_i h_i} \cdot 10^{-12}$$

$$\Delta t_{ui} = 20.7 \frac{(1064 + 273)^4 \cdot 4}{1.4 \cdot 13} \cdot 10^{-12} = 6.82^{\circ}\text{C}$$

2. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (20 + 13) = 16,5 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (305 \cdot 7)^{0,5} = 46 \text{ мм};$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{46}{305} = 0,15 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{7}{20} = 0,35(35\%); \quad u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 1440 \cdot \frac{0,35}{46} = 10,95 \text{ с}^{-1}$$

3. Визначаємо напруга течії металу за формулами

Передній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{(5 - 0,55)}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{1064}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,775;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,35)^2] = 1,36;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(2,39 - 2,3)^{1,05} = 1,03;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 0,775 \cdot 1,36 \cdot 1,03 = 87,81 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{984}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,9 ;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,35)^2] = 1,36 ;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(2,39 - 2,3)^{1,05} = 1,03 ;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 0,9 \cdot 1,36 \cdot 1,03 = 102,97 \text{ Н/мм}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки

Передній кінець:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{1064}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,22.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,44)^2 = 1,35$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, при $\varepsilon = 35\%$, $k_\varepsilon = 1,1$
 для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною
 $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя та показник тертя дорівнюють:

$$f = 0,22 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,4;$$

$$f_{\Pi} = 0,4 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,35) = 0,55$$

Задній кінець:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{984}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,25.$$

$$f = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,44;$$

$$f_{\Pi} = 0,44 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,35) = 0,6$$

5. Середнє нормальне контактне напруження

Передній кінець:

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 46 / 16,5 = 2,78$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} (1 + C_H \cdot f_{\Pi} \cdot l_d/h_{cp})$$

$$p_{cp} = 87,81 [1 + 0,48 \cdot 0,55 \cdot 2,78] = 330 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 462 \cdot 0,046 \cdot 1,2 = 18 \text{ МН}$$

Задній кінець:

$$p_{cp} = 102,97 [1 + 0,48 \cdot 0,6 \cdot 2,78] = 310 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = 310 \cdot 0,046 \cdot 1,2 = 17,1 \text{ МН}$$

7. Визначимо подовжню різнотовщинність

Розрахунок подовжній різнотовщинності виконуємо за допомогою формул з робіт [2-6]:

$$\delta h_{\Pi} = \frac{\Delta P}{M_{\text{кл}} + M_{\Pi_i}};$$

$$M_{\Pi} = \varphi_1 \cdot \frac{P}{\Delta h};$$

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot \left[1 + 0,023 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,5} \right] = 0,58;$$

$$M_{\Pi_2} = 0,58 \cdot \frac{18}{7} = 1,49;$$

$$M_{\Pi_4} = 0,58 \cdot \frac{17,1}{7} = 1,41;$$

$$\delta h_{\Pi_2} = \frac{1,1}{3,06 + 1,49} = 0,24 \text{ мм}$$

$$\delta h_{\Pi_4} = \frac{1,1}{3,06 + 1,41} = 0,25 \text{ мм}$$

Кліть 6

1. Визначаємо температуру штаби

Температура штаби перед наступною кліттю дорівнює:

$$t_{i+1} = t_i - \Delta t_{ui}$$

$$t_i = 984 - 8 = 976^\circ\text{C}$$

Перепад температури по довжині розкату визначається з формули:

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot \tau_i \cdot m}{h_{\text{пр}}} \left(\frac{t_{i+1} + 273}{1000} \right)^4;$$

$$\tau_i = L_{\text{пр}} / v_i; L_{\text{пр}} = L_{\text{сл}} \cdot (H_{\text{сл}} / h_{\text{пр}}).$$

$$L_{\text{пр}} = 4,5 \cdot \left(\frac{165}{20} \right) = 37,125 \text{ м}$$

$$\tau_i = \frac{37,125}{1,44} = 25,78$$

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot 25,78 \cdot 1,08}{20} \left(\frac{976 + 273}{1000} \right)^4 = 25,05 \cdot 2,43 = 60^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату при вході в другу кліть чистової групи дорівнює:

$$\begin{aligned} t_{i3} &= t_1 - \Delta t_{\Pi} \\ t_{i3} &= 976 - 60 = 916^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Втрата тепла тонких штаб в межклетьових ділянках чистової групи:

$$\begin{aligned} \Delta t_{ui} &= 20.7 \frac{(t_i + 273)^4 \cdot L_{pi}}{u_i h_i} \cdot 10^{-12} \\ \Delta t_{ui} &= 20.7 \frac{(976 + 273)^4 \cdot 4}{2,4 \cdot 13} \cdot 10^{-12} = 6^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

2. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (13 + 8,2) = 10,6 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$\begin{aligned} l_d &= \sqrt{R\Delta h} = (305 \cdot 4,8)^{0,5} = 38 \text{ мм}; \\ \alpha &= \frac{l_d}{R} = \frac{38}{305} = 0,12 \text{ рад.} \end{aligned}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{4,8}{13} = 0,36(36\%); \quad u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 2470 \cdot \frac{0,36}{38} = 23,4 \text{ с}^{-1}$$

3. Визначаємо напруга течії металу за формулами

Передній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H} / \text{мм}^2;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{976}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,55;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,36)^2] = 1,38;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,15 - 2,3)^{1,5} = 1,08;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,55 \cdot 1,38 \cdot 1,08 = 186 \text{ H} / \text{мм}^2.$$

Задній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H} / \text{мм}^2;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{916}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,52;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,35)^2] = 1,36;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(2,39 - 2,3)^{1,05} = 1,03;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,52 \cdot 1,36 \cdot 1,03 = 172 \text{ H} / \text{мм}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки

Передній кінець:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{976}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,25.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,44)^2 = 1,35$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, при $\varepsilon = 35\%$, $k_\varepsilon = 1,1$
для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною
 $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя та показник тертя дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,44;$$

$$f_{\Pi} = 0,44 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,36) = 0,60$$

Задній кінець:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{916}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,26.$$

$$f = 0,26 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,46;$$

$$f_{\Pi} = 0,46 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,36) = 0,63.$$

5. Середнє нормальне контактне напруження

Передній кінець:

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 38 / 10,6 = 3,58$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 186 [1 + 0,48 \cdot 0,52 \cdot 3,58] = 352 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 352 \cdot 0,038 \cdot 1,2 = 16 \text{ МН}$$

Задній кінець:

$$p_{cp} = 172 [1 + 0,48 \cdot 0,6 \cdot 3,58] = 349 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = 349 \cdot 0,038 \cdot 1,2 = 15,9 \text{ МН}$$

7. Визначимо подовжню різнотовщинність

Розрахунок подовжній різнотовщинності виконуємо за допомогою формул з робіт [2-6]:

$$\delta h_{II} = \frac{\Delta P}{M_{кл} + M_{IIi}}$$

$$M_{II} = \varphi_1 \cdot \frac{P}{\Delta h}$$

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot \left[1 + 0,023 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,5} \right] = 0,88;$$

$$M_{II2} = 0,88 \cdot \frac{16}{4,8} = 2,9;$$

$$M_{II4} = 0,88 \cdot \frac{15,9}{4,8} = 2,915;$$

$$\delta h_{II2} = \frac{0,1}{3,06 + 2,9} = 0,16 \text{ мм}$$

$$\delta h_{II4} = \frac{0,1}{3,06 + 2,915} = 0,17 \text{ мм}$$

Кліть 7

1. Визначаємо температуру штаби

Температура штаби перед наступною кліттю дорівнює:

$$\begin{aligned} t_{i+1} &= t_i - \Delta t_{ui} \\ t_i &= 976 - 6 = 976^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Перепад температури по довжині розкату визначається з формули:

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot \tau_i \cdot m}{h_{\text{пр}}} \left(\frac{t_{i+1} + 273}{1000} \right)^4 ;$$

$$\tau_i = L_{\text{пр}} / v_i ; L_{\text{пр}} = L_{\text{сл}} \cdot (H_{\text{сл}} / h_{\text{пр}}).$$

$$L_{\text{пр}} = 4,5 \cdot \left(\frac{165}{20} \right) = 37,125 \text{ м}$$

$$\tau_i = \frac{37,125}{1,44} = 25,78$$

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot 25,78 \cdot 1,08}{20} \left(\frac{970 + 273}{1000} \right)^4 = 25,05 \cdot 2,38 = 59^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату при вході в другу кліть чистової групи дорівнює:

$$\begin{aligned} t_{i3} &= t_1 - \Delta t_{\Pi} \\ t_{i3} &= 970 - 59 = 911^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Втрата тепла тонких штаб в межклетьових ділянках чистової групи:

$$\Delta t_{ui} = 20,7 \frac{(t_i + 273)^4 \cdot L_{pi}}{u_i h_i} \cdot 10^{-12}$$

$$\Delta t_{ui} = 20,7 \frac{(970 + 273)^4 \cdot 4}{2,4 \cdot 13} \cdot 10^{-12} = 6^\circ\text{C}$$

2. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (8,2 + 5,05) = 6,625 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (305 \cdot 3,15)^{0,5} = 31 \text{ мм};$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{31}{305} = 0,10 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{3,15}{8,2} = 0,38(38\%); \quad u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 3810 \cdot \frac{0,38}{31} = 46,7 \text{ с}^{-1}$$

3. Визначаємо напруга течії металу за формулами

Передній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{970}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,5;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,38)^2] = 1,27;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,84 - 2,3)^{1,5} = 1,26;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,5 \cdot 1,27 \cdot 1,26 = 194 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{911}{400} - 2\right)^{0,7} = 1,48;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,38)^2] = 1,27;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,84 - 2,3)^{1,5} = 1,26;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,45 \cdot 1,27 \cdot 1,26 = 187 \text{ Н/мм}^2.$$

4. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки

Передній кінець:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{970}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,23.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,44)^2 = 1,35$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, при $\varepsilon = 35\%$, $k_\varepsilon = 1,1$ для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя та показник тертя дорівнюють:

$$f = 0,23 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,41;$$

$$f_{\Pi} = 0,41 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,38) = 0,57$$

Задній кінець:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{911}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,24.$$

$$f = 0,24 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,42;$$

$$f_{\Pi} = 0,42 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,38) = 0,58.$$

5. Середнє нормальне контактне напруження

Передній кінець:

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 31 / 6,625 = 4,67$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{\Pi} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 194 [1 + 0,48 \cdot 0,57 \cdot 4,67] = 446 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 446 \cdot 0,031 \cdot 1,2 = 16,59 \text{ МН}$$

Задній кінець

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 31 / 6,625 = 4,67$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{\Pi} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 187 [1 + 0,48 \cdot 0,58 \cdot 4,67] = 430 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 430 \cdot 0,031 \cdot 1,2 = 16 \text{ МН}$$

7. Визначимо подовжню різнотовщинність

Розрахунок подовжній різнотовщинності виконуємо за допомогою формул з робіт [2-6]:

$$\delta h_{\Pi} = \frac{\Delta P}{M_{\text{кл}} + M_{\Pi_i}};$$

$$M_{\Pi} = \varphi_1 \cdot \frac{P}{\Delta h};$$

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot \left[1 + 0,023 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,5} \right] = 0,89;$$

$$M_{\Pi_2} = 0,89 \cdot \frac{16,6}{3,15} = 4,7;$$

$$M_{\Pi_4} = 0,89 \cdot \frac{16}{3,15} = 4,5;$$

$$\delta h_{\Pi_2} = \frac{0,6}{3,06 + 4,7} = 0,078 \text{ мм}$$

$$\delta h_{\Pi_4} = \frac{0,6}{3,06 + 4,5} = 0,08 \text{ мм}$$

Кліть 8

1. Визначаємо температуру штаби

Температура штаби перед наступною кліттю дорівнює:

$$t_{i+1} = t_i - \Delta t_{ui}$$

$$t_i = 970 - 12 = 958^\circ\text{C}$$

Перепад температури по довжині розкату визначається з формули:

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot \tau_i \cdot m}{h_{\text{пр}}} \left(\frac{t_{i+1} + 273}{1000} \right)^4;$$

$$\tau_i = L_{\text{пр}} / v_i; L_{\text{пр}} = L_{\text{сл}} \cdot (H_{\text{сл}} / h_{\text{пр}}).$$

$$L_{\text{пр}} = 4,5 \cdot \left(\frac{165}{20} \right) = 37,125 \text{ м}$$

$$\tau_i = \frac{37,125}{1,44} = 25,78$$

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot 25,78 \cdot 1,08}{20} \left(\frac{958 + 273}{1000} \right)^4 = 25,05 \cdot 2,38 = 58^{\circ}\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату при вході в другу кліть чистової групи дорівнює:

$$t'_{i3} = t'_1 - \Delta t_{\Pi}$$

$$t'_{i3} = 958 - 58 = 900^{\circ}\text{C}$$

Втрата тепла тонких штаб в межклетьових ділянках чистової групи:

$$\Delta t_{ui} = 20,7 \frac{(t_i + 273)^4 \cdot L_{pi}}{u_i h_i} \cdot 10^{-12}$$

$$\Delta t_{ui} = 20,7 \frac{(958 + 273)^4 \cdot 4}{2,4 \cdot 13} \cdot 10^{-12} = 11^{\circ}\text{C}$$

2. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (5,05 + 3,35) = 4,2 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (305 \cdot 1,7)^{0,5} = 23 \text{ мм};$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{23}{305} = 0,07 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{1,7}{5,05} = 0,33(33\%); \quad u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 5780 \cdot \frac{0,33}{23} = 82,93 \text{ с}^{-1}$$

3. Визначаємо напруга течії металу за формулами

Передній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{958}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,47 ;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,33)^2] = 1,35 ;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,41 - 2,3)^{1,5} = 1,33 ;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,47 \cdot 1,35 \cdot 1,33 = 213 \text{ H/мм}^2$$

Задній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{900}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,4 ;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,33)^2] = 1,35 ;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,41 - 2,3)^{1,5} = 1,33 ;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,4 \cdot 1,35 \cdot 1,33 = 203 \text{ H/мм}^2 .$$

4. Визначасмо коефіцієнт і показник тертя пригарячої прокатки

Передній кінець:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{958}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,25.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 5,78)^2 = 0,89$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп -

$k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при

охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя та показник тертя дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,29;$$

$$f_{\Pi} = 0,29 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,33) = 0,39$$

Задній кінець:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{900}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,26.$$

$$f = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,29;$$

$$f_{\Pi} = 0,29 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,33) = 0,39.$$

5. Середнє нормальне контактне напруження

Передній кінець:

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 23 / 4,2 = 5,47$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{\Pi} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 213 [1 + 0,48 \cdot 0,37 \cdot 5,47] = 419 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 419 \cdot 0,023 \cdot 1,2 = 12 \text{ МН}$$

Задній кінець:

$$p_{cp} = 210 [1 + 0,48 \cdot 0,37 \cdot 5,47] = 414 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 414 \cdot 0,023 \cdot 1,2 = 11,4 \text{ МН}$$

7. Визначимо подовжню різнотовщинність

Розрахунок подовжній різнотовщинності виконуємо за допомогою формул з робіт [2-6]:

$$\delta h_{\Pi} = \frac{\Delta P}{M_{кл} + M_{\Pi_i}};$$

$$M_{\Pi} = \varphi_1 \cdot \frac{P}{\Delta h};$$

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot \left[1 + 0,023 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,5} \right] = 0,91;$$

$$M_{\Pi_2} = 0,91 \cdot \frac{12}{1,7} = 6,42;$$

$$M_{\Pi_4} = 0,91 \cdot \frac{11,4}{1,7} = 6,1;$$

$$\delta h_{\Pi_2} = \frac{0,6}{3,06 + 6,42} = 0,063 \text{ мм}$$

$$\delta h_{\Pi_4} = \frac{0,6}{3,06 + 6,1} = 0,065 \text{ мм}$$

Кліть 9

1. Визначаємо температуру штаби

Температура штаби перед наступною кліттю дорівнює:

$$t_{i+1} = t_i - \Delta t_{ui}$$

$$t_i = 958 - 11 = 947^\circ\text{C}$$

Перепад температури по довжині розкату визначається з формули:

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot \tau_i \cdot m}{h_{\text{пр}}} \left(\frac{t_{i+1} + 273}{1000} \right)^4;$$

$$\tau_i = L_{\text{пр}} / v_i; L_{\text{пр}} = L_{\text{сл}} \cdot (H_{\text{сл}} / h_{\text{пр}}).$$

$$L_{\text{пр}} = 4,5 \cdot \left(\frac{165}{20} \right) = 37,125 \text{ м}$$

$$\tau_i = \frac{37,125}{1,44} = 25,78$$

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot 25,78 \cdot 1,08}{20} \left(\frac{947 + 273}{1000} \right)^4 = 25,05 \cdot 2,38 = 59^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату при вході в другу кліть чистової групи дорівнює:

$$t_{i3} = t_1 - \Delta t_{\Pi}$$

$$t'_{i3} = 947 - 55 = 892^{\circ}\text{C}$$

Втрата тепла тонких штаб в межклетьових ділянках чистової групи:

$$\Delta t_{ui} = 20.7 \frac{(t_i + 273)^4 \cdot L_{pi}}{u_i h_i} \cdot 10^{-12}$$

$$\Delta t_{ui} = 20.7 \frac{(947 + 273)^4 \cdot 4}{2,4 \cdot 13} \cdot 10^{-12} = 14^{\circ}\text{C}$$

2. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (3,35 + 2,45) = 2,9 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (305 \cdot 0,9)^{0,5} = 16 \text{ мм};$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{16}{305} = 0.05 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,9}{3,35} = 0,26(26\%); \quad u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 7720 \cdot \frac{0,26}{16} = 125,45 \text{ с}^{-1}$$

3. Визначаємо напруга течії металу за формулами

Передній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T6} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{947}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,4;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,26)^2] = 1,4;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,83 - 2,3)^{1,5} = 1,43;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,4 \cdot 1,4 \cdot 1,43 = 226 \text{ Н/мм}^2$$

Задній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{892}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,36;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,26)^2] = 1,4;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,83 - 2,3)^{1,5} = 1,43;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,36 \cdot 1,4 \cdot 1,43 = 220 \text{ Н/мм}^2$$

4. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки

Передній кінець:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{947}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,25.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 7,72)^2 = 0,8$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя та показник тертя дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,26;$$

$$f_{\Pi} = 0,26 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,26) = 0,3.$$

Задній кінець:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{892}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,26.$$

$$f = 0,26 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,27;$$

$$f_{\Pi} = 0,27 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,26) = 0,34.$$

5. Середнє нормальне контактне напруження

Передній кінець:

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 16 / 2,9 = 5,51$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{\Pi} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 226[1 + 0,48 \cdot 0,3 \cdot 5,51] = 405 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 405 \cdot 0,016 \cdot 1,2 = 7,8 \text{ МН}$$

Задній кінець:

$$p_{cp} = 220[1 + 0,48 \cdot 0,3 \cdot 5,51] = 394 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = 394 \cdot 0,016 \cdot 1,2 = 7,5 \text{ МН}$$

7. Визначимо подовжню різнотовщинність

Розрахунок подовжній різнотовщинності виконуємо за допомогою формул з робіт [2-6]:

$$\delta h_{\Pi} = \frac{\Delta P}{M_{кл} + M_{\Pi_i}};$$

$$M_{\Pi} = \varphi_1 \cdot \frac{P}{\Delta h};$$

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot \left[1 + 0,023 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,5} \right] = 0,89;$$

$$M_{\Pi_2} = 0,89 \cdot \frac{7,8}{0,9} = 7,7;$$

$$M_{\Pi_4} = 0,89 \cdot \frac{7,5}{0,9} = 7,4;$$

$$\delta h_{\Pi_2} = \frac{0,3}{3,06 + 7,7} = 0,028 \text{ мм}$$

$$\delta h_{\Pi_4} = \frac{0,3}{3,06 + 7,4} = 0,029 \text{ мм}$$

Кліть 10

1. Визначаємо температуру штаби

Температура штаби перед наступною кліттю дорівнює:

$$t_{i+1} = t_i - \Delta t_{ui}$$

$$t_i = 947 - 14 = 933^\circ\text{C}$$

Перепад температури по довжині розкату визначається з формули:

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot \tau_i \cdot m}{h_{\text{пр}}} \left(\frac{t_{i+1} + 273}{1000} \right)^4 ;$$

$$\tau_i = L_{\text{пр}} / v_i ; L_{\text{пр}} = L_{\text{сл}} \cdot (H_{\text{сл}} / h_{\text{пр}}).$$

$$L_{\text{пр}} = 4,5 \cdot \left(\frac{165}{20} \right) = 37,125\text{м}$$

$$\tau_i = \frac{37,125}{1,44} = 25,78$$

$$\Delta t_{\Pi} = \frac{18 \cdot 25,78 \cdot 1,08}{20} \left(\frac{947 + 273}{1000} \right)^4 = 25,05 \cdot 2,38 = 55^\circ\text{C}$$

Температура заднього кінця розкату при вході в другу кліть чистової групи дорівнює:

$$t_{i3} = t_1 - \Delta t_{\Pi}$$

$$t_{i3} = 947 - 55 = 892^\circ\text{C}$$

Втрата тепла тонких штаб в межклетьових ділянках чистової групи:

$$\Delta t_{ui} = 20,7 \frac{(t_i + 273)^4 \cdot L_{pi}}{u_i h_i} \cdot 10^{-12}$$

$$\Delta t_{ui} = 20,7 \frac{(947 + 273)^4 \cdot 4}{2,4 \cdot 13} \cdot 10^{-12} = 14^\circ\text{C}$$

2. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (2,45 + 2,00) = 2,25 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (305 \cdot 0,45)^{0,5} = 12 \text{ мм};$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{12}{305} = 0,04 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,45}{2,45} = 0,18(18\%); \quad u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 8960 \cdot \frac{0,18}{12} = 134,4 \text{ с}^{-1}$$

3. Визначаємо напруга течії металу за формулами

Передній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{933}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,35;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,18)^2] = 1,15;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,9 - 2,3)^{1,5} = 1,45;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,35 \cdot 1,15 \cdot 1,45 = 182 \text{ Н/мм}^2.$$

Задній кінець:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,6 - 1,1 \cdot \left(\frac{9892}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,3 ;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,18)^2] = 1,15 ;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,9 - 2,3)^{1,5} = 1,45 ;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,3 \cdot 1,15 \cdot 1,45 = 175 \text{ Н/мм}^2 .$$

4. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки

Передній кінець:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{933}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,26 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 8,96)^2 = 0,76$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя та показник тертя дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,76 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,24;$$

$$f_{\Pi} = 0,24 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,18) = 0,27$$

Задній кінець:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{t}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,27 - 0,1 \left[\left(\frac{892}{400} \right) - 2 \right]^2 = 0,23;$$

$$f = 0,23 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,76 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,23;$$

$$f_{\Pi} = 0,23 \cdot (0,92 + 1,27 \cdot 0,18) = 0,26.$$

5. Середнє нормальне контактне напруження

Передній кінець:

$$\text{для } l_d/h_{cp} = 12 / 2,25 = 5,3$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{\Pi} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 182 [1 + 0,48 \cdot 0,26 \cdot 5,3] = 302 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 302 \cdot 0,012 \cdot 1,2 = 4,4 \text{ МН.}$$

Задній кінець:

$$p_{\text{cp}} = 175[1 + 0,48 \cdot 0,26 \cdot 5,3] = 290 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = 290 \cdot 0,012 \cdot 1,2 = 4,2 \text{ МН.}$$

7. Визначимо подовжню різнотовщинність

Розрахунок подовжній різнотовщинності виконуємо за допомогою формул з робіт [2-6]:

$$\delta h_{\Pi} = \frac{\Delta P}{M_{\text{кл}} + M_{\Pi_i}};$$

$$M_{\Pi} = \varphi_1 \cdot \frac{P}{\Delta h};$$

$$\varphi_1 = (0,57 + 0,62\varepsilon) \cdot \left[1 + 0,023 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,5} \right] = 0,85;$$

$$M_{\Pi_2} = 0,85 \cdot \frac{4,4}{0,45} = 8,3;$$

$$M_{\Pi_4} = 0,85 \cdot \frac{4,2}{0,45} = 7,9;$$

$$\delta h_{\Pi_2} = \frac{0,2}{3,06 + 8,3} = 0,017 \text{ мм}$$

$$\delta h_{\Pi_4} = \frac{0,2}{3,06 + 7,9} = 0,018 \text{ мм}$$

Таблиця 2.3.1.Отриманні данні з розрахунків

| Параметр | Кліть 5 | Кліть 6 | Кліть 7 | Кліть 8 | Кліть 9 | Кліть10 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| H,мм | 20,00 | 16,50 | 11,70 | 8,55 | 6,85 | 5,95 |
| h,мм | 16,50 | 11,70 | 8,55 | 6,85 | 5,95 | 5,5 |
| Δh , мм | 3,50 | 4,80 | 3,15 | 1,70 | 0,90 | 0,45 |
| v,м/с | 1,44 | 2,47 | 3,81 | 5,78 | 7,72 | 8,96 |

Таблиця 2.3.2.Отриманні данні з розрахунків

| Параметр | Кліть 5 | Кліть 6 | Кліть 7 | Кліть 8 | Кліть 9 | Кліть10 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $P_{\Pi}, \text{МН}$ | 18 | 16 | 16,6 | 12 | 7,8 | 4,4 |
| $P_3, \text{МН}$ | 17,1 | 15,9 | 16 | 11,4 | 7,5 | 4,2 |
| $\delta h_{\Pi_2}, \text{ММ}$ | 0,22 | 0,16 | 0,078 | 0,063 | 0,028 | 0,017 |
| $\delta h_{\Pi_4}, \text{ММ}$ | 0,25 | 0,17 | 0,08 | 0,065 | 0,029 | 0,018 |

Таблиця 2.3.3.Отриманні данні з розрахунків

| Параметр | Кліть 5 | Кліть 6 | Кліть 7 | Кліть 8 | Кліть 9 | Кліть 10 |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| $t_{II}, ^\circ\text{C}$ | 1064 | 976 | 970 | 958 | 947 | 933 |
| $t_3, ^\circ\text{C}$ | 984 | 916 | 911 | 900 | 892 | 881 |
| $p_{cpII},$ Н/мм ² | 330 | 352 | 446 | 419 | 405 | 302 |
| $p_{cp3},$ Н/мм ² | 310 | 349 | 430 | 414 | 394 | 290 |

Таблиця 2.3.4.Отриманні данні з розрахунків

| Параметр | Кліть 5 | Кліть 6 | Кліть 7 | Кліть 8 | Кліть 9 | Кліть 10 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| $\varepsilon, \%$ | 35 | 36 | 38 | 33 | 26 | 18 |
| u, c^{-1} | 10,95 | 23,4 | 46,7 | 82,93 | 125,45 | 134,4 |
| $\sigma_{TII}, H/мм^2$ | 87,81 | 186 | 194 | 213 | 226 | 182 |
| $\sigma_{TЗ}, H/мм^2$ | 102,97 | 172 | 187 | 203 | 220 | 175 |
| f_{II} | 0,4 | 0,44 | 0,41 | 0,29 | 0,26 | 0,24 |
| f_3 | 0,44 | 0,46 | 0,42 | 0,29 | 0,27 | 0,23 |

За отриманими результатами розрахунків будемо графіки

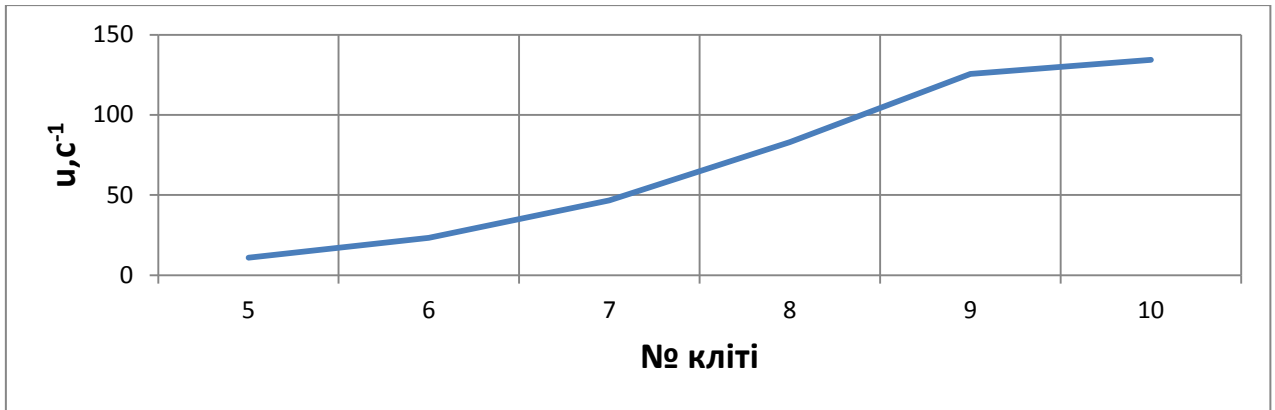


Рис. 2.3.1. Швидкість деформації

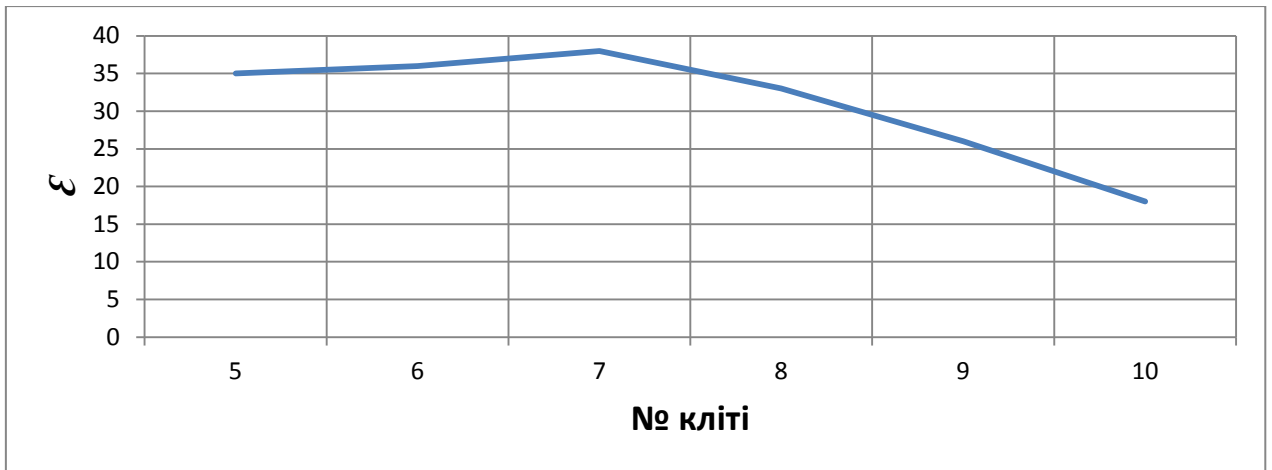


Рис. 2.3.2. Відносний обтиск

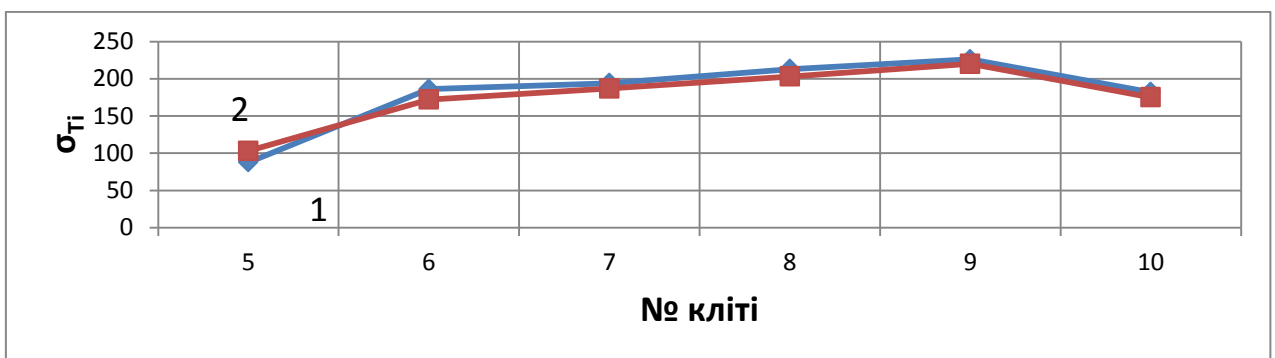


Рис. 2.3.3. Напряга течії металу, 1 – напряга течії металу на передньому кінці штаби, 2- напряга течії металу на задньому кінці штаби

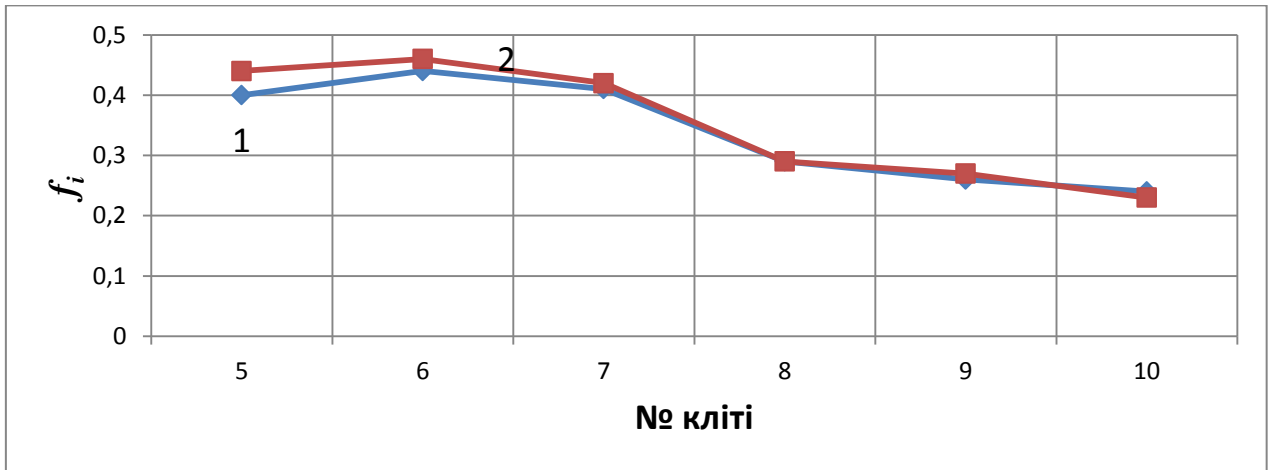


Рис. 2.3.4. Коефіцієнт тертя. 1- коефіцієнт тертя на передньому кінці штаби, 2- коефіцієнт тертя на кінці штаби.

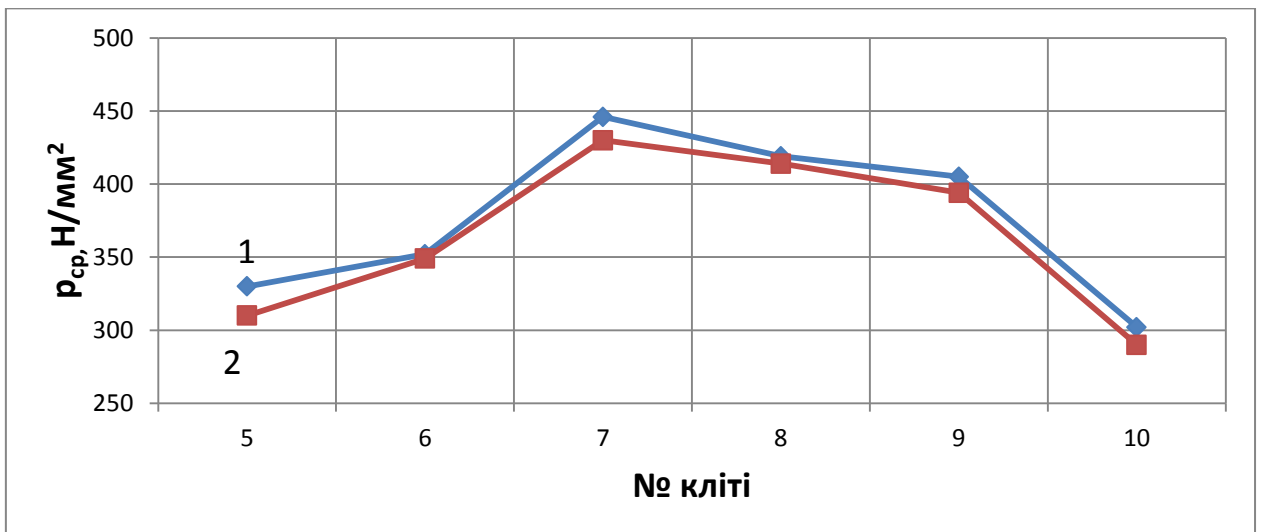


Рис. 2.3.5. Середня нормальна контактна напруга. 1- середня нормальна контактна напруга на початку штаби, 2- середня контактна напруга на кінці штаби.

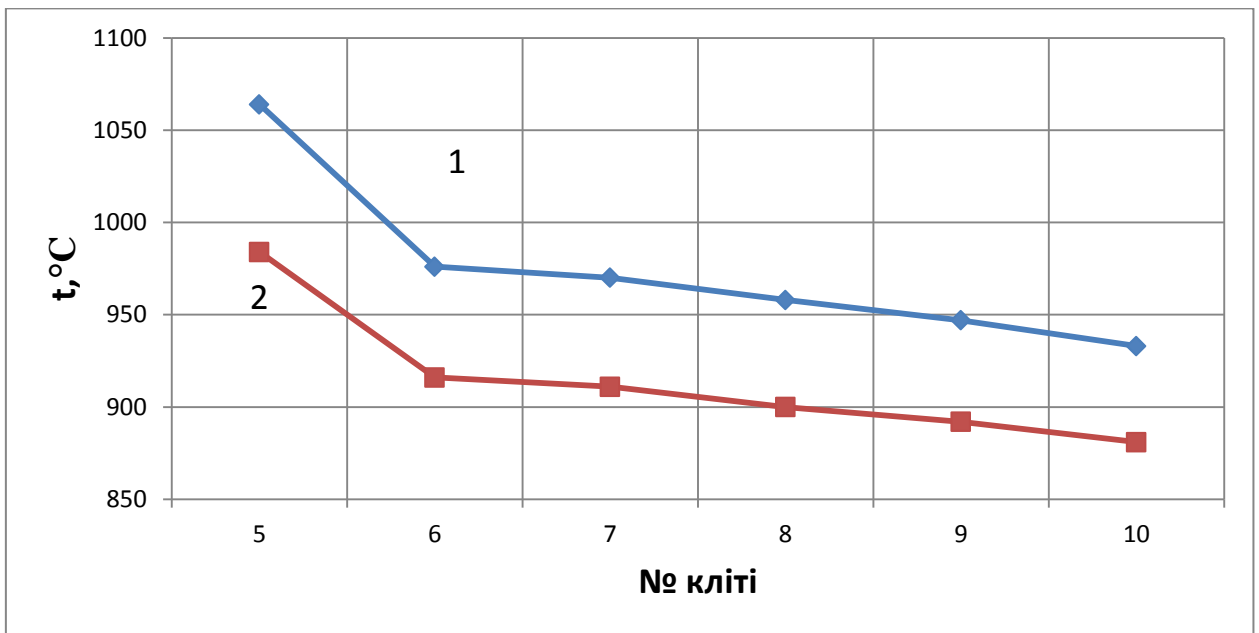


Рис. 2.3.6. Температура штаби. 1-температура переднього кінця штаби, 2-температура заднього кінця штаби.

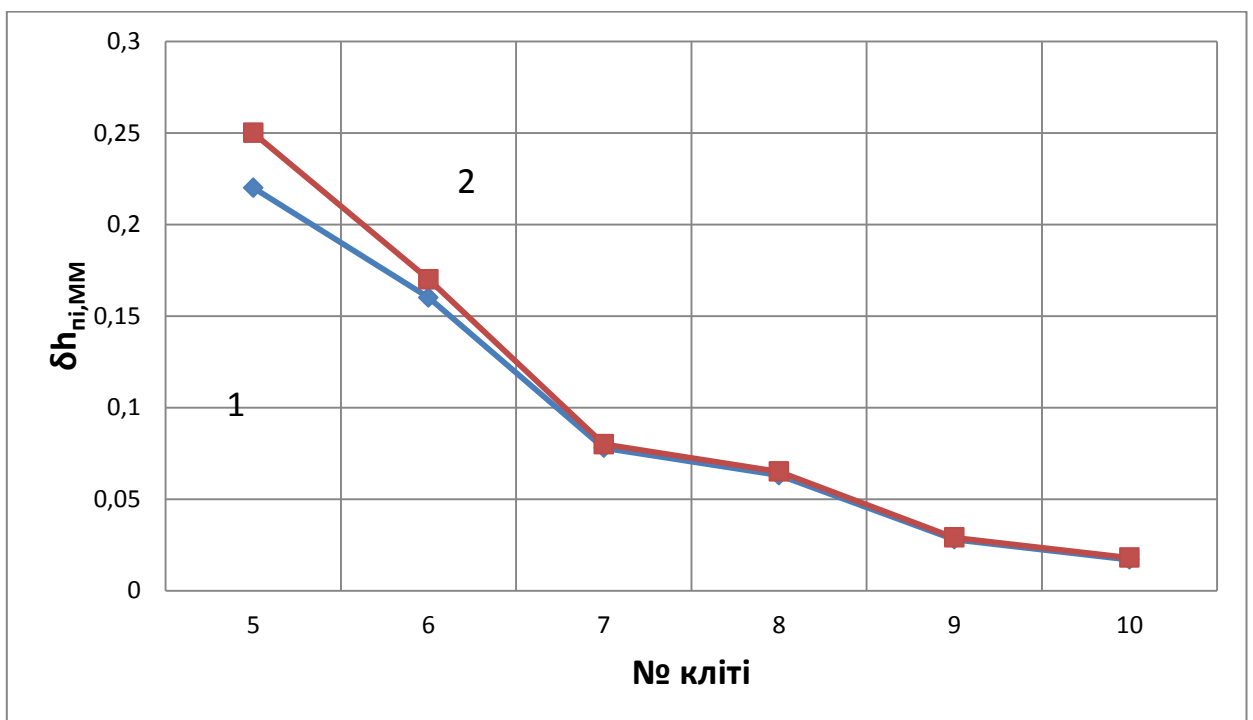


Рис. 2.3.7. Поздовжня різнотовщинність. 1-поздовжня різнотовщинність переднього кінця штаби, 2-поздовжня різнотовщинність заднього кінця штаби.

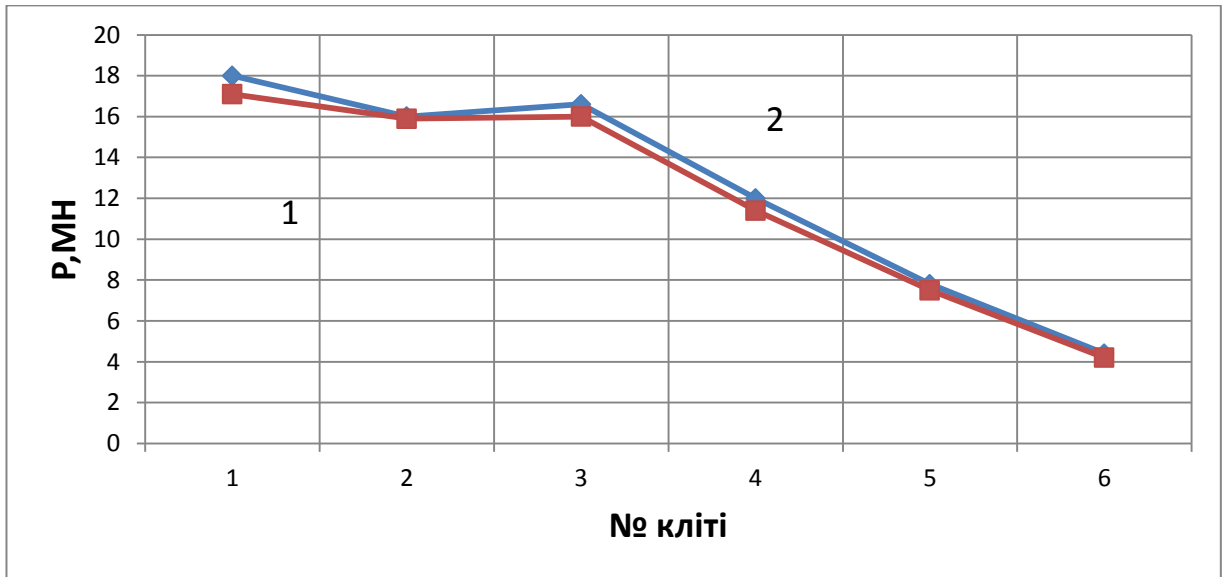


Рис. 2.3.8. Сила прокатування. 1-сила прокатування на передньому кінці штаби, 2-сила прокатування на задньому кінці штаби.

2.3 Розрахунок техніко-економічних показників виробництва

Розрахунок продуктивності стану виконуємо для профілів $1,5 \times 1050$ мм.

Розрахунок темпу прокатки згідно

$$T = t_m + t_n$$

де T - темп прокатки; t_m машинний час прокатки -; t_n - час паузи.

$$t_m = 59\text{с}; t_n = 5\text{с}; T = 59 + 5 = 64\text{с}$$

Маса рулонів отримана при прокатці згідно $G = 5,9\text{т}$;

Годинна продуктивність стану:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{T}$$

$$A = \frac{3600 \cdot 5,9}{64} = 331,8 \text{ т/ГОД.}$$

Річна продуктивність стану:

$$A_r = A_{cp} \cdot A_{год}$$

де $A_{год}$ - число робочих годин у році рівне 6472,2 г. тоді визначаємо A_r

$$A_r = 331,8 \cdot 6472,2 = 2147475,96 \text{ т.}$$

Розрахунок собівартості 1 т прокату

Розраховуємо суму витрат на відходи виробництва:

Сляби: $1,1 \times 8590,66 = 9049,73$ грн.;

Кінці і обріз: $0,08 \times 43,8 = 2,904$ грн.

Чад і окалина: $0,02 \times 88,5 = 2,37$ грн.

Визначаємо витрати по паливу:

Газ природний: $0,0992 \times 3297,36 = 328,7$ грн.

Визначаємо витрати на енергетику:

Електроенергія: $0,154 \times 1131,72 = 174,28$ грн.;

Пара: $0,0134 \times 93 = 1,25$ грн.;

Вода: $0,06 \times 123 = 7,38$ грн.;

Повітря: $0,041 \times 25,66 = 1,05$ грн.;

Цехова вартість 1 тони прокату: 9565,66 грн. ;

Змінне устаткування, інструмент інвентар 404,35 грн.;

Таблиця 2.4 – Калькуляція собівартості

| Найменування | Од. вимір. | кількість | Ціна, грн | Сума, грн |
|-------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| 1. Задано | т | 1,1 | 8590,66 | 9049,73 |
| 2. Відходи | т | 0,1 | | 5,2 |
| кінці і обріз | т | 0,08 | 43,8 | 2,904 |
| чад і окалина | т | 0,02 | 88,5 | 2,37 |
| 3. Витрата по переділу: | | | | |
| газ природний | м ³ | 0,0992 | 3297,36 | 328,7 |
| електроенергія | кВт/г | 0,154 | 1131,72 | 174,28 |
| Пара | Гкал | 0,0126 | 93 | 1,25 |
| Вода | м ³ | 0,06 | 123 | 7,38 |
| повітря | м ³ | 0,041 | 25,66 | 1,05 |
| Разом енерговитрати | | | | 512,66 |
| Допоміжні матеріали | | | | 4,38 |
| Змінне обладнання | | | | 5,97 |
| Поточний ремонт | | | | 17,43 |
| Інші цех. витрати | | | | 12,6 |
| Разом по переділу | | | | 47,36 |
| Цехова собівартість | | | | 9565,66 |

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок на міцність механізмів прокатної кліті

Розрахунок на міцність валків

При прокатці штаби між робочими валками згибаються як опорні, так і робочі валки (рис.3.1).

Приймаємо з розрахункових даних:

зусилля прокатки $P = 17,1 \text{ МН} (1710 \text{ Т})$,

максимальний момент, що крутиться $M_{кр} = 0,3 \text{ МНм} (300 \text{ Т} \cdot \text{м})$,

різниця натягу $T = 200 \text{ КН} (20 \text{ Т})$.

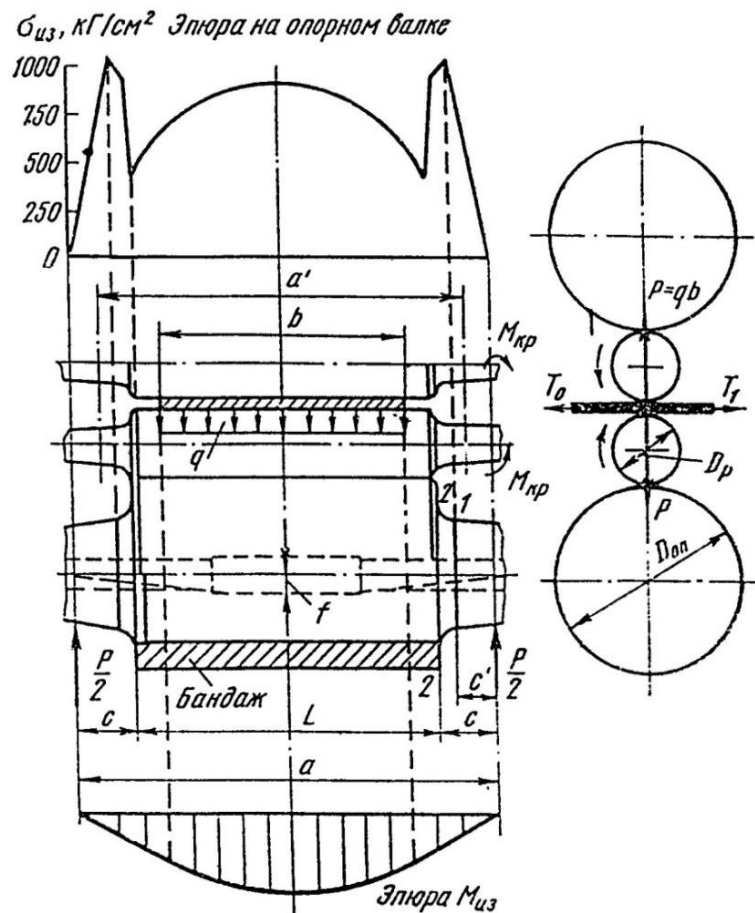


Рисунок 3.1 – До розрахунку валків чотирьохвалкової кліті

Розрахунок виконується для кліті №5, чистової групи клітей.

Визначаємо розподіл зусилля між робочим і опорним валянням по формулі [15]:

$$\left(\frac{P_{on}}{D_p}\right)^4 = \left(\frac{1170}{580}\right)^4 = 17,752;$$

$$P_p = \frac{P}{1 + \left(\frac{P_{\ddot{u}}}{D_{\delta}}\right)^4} = \frac{14,5}{1 + 17,752} = 0,72 \text{ МН} (72 \text{ Т});$$

$$P_{\ddot{u}} = P - P_p = 14,5 - 0,72 = 12,78 \text{ МН} (1278 \text{ Т}).$$

Таким чином, робочі валки сприймають тиск:

$$\frac{0,72}{14,5} = 0,053 (5,3\%).$$

$a' = 2230 \text{ мм}$, де a - відстань між осями натяжних гвинтів.

Максимальний згинальний момент

$$M_p = \frac{P_p \cdot a}{8} = \frac{0,72 \cdot 2,23}{8} = 0,20 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальний згинальний момент від різниці горизонтальних натягів штаби (для одного валка)

$$M_T = \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{4} \left(a' - \frac{b}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{200}{4} \left(2,23 - \frac{1,25}{2}\right) = 40,125 \text{ кНм},$$

де b - ширина штаби.

Результуючий згинальний момент по середині бочки робочого валка

$$M_{раб} = \sqrt{M_p^2 + M_T^2} = \sqrt{200^2 + 40,125^2} = 204 \text{ кНм}$$

Максимальна напруга вигину посередині бочки валка

$$\sigma = \frac{M_{раб}}{0,1D_p^3} = \frac{204 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 570^3} = 11,02 \text{ Н / мм}^2 (110 \text{ кГ / см}^2)$$

Напруга крутіння на шейку валка

$$\tau = \frac{M_{кр} \psi}{0,2d_{ур}^3} = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 2,1}{0,2 \cdot 395^3} = 51,11 \text{ Н / мм}^2 (511 \text{ кГ / см}^2)$$

де $\psi = 2,1$ - коефіцієнт концентрації напруги.

Напруги в опорному валку

Максимальний згинальний момент і напруга по середині бочки, при вигині:

$$M_{он} = \frac{P_{он}}{4} \left(a - \frac{b}{2} \right) = \frac{12,78}{4} \left(2,7 - \frac{1,25}{2} \right) = 6,63 \text{ МНм} (6630 \text{ Гм}),$$

$$\sigma = \frac{M_{он}}{0,1P_{он}^3} = \frac{6,63}{0,1 \cdot 1,17^3} = 41,4 \text{ Н / мм}^2 (414 \text{ кГ / см}^2)$$

Напруга вигину в перетині 1-1:

$$\sigma = \frac{P/2 \cdot C}{0,1d^3} = \frac{(12,78/2) \cdot 0,35}{0,1 \cdot 0,65^3} = 81,44 \text{ Н / мм}^2 (8144 \text{ кГ / см}^2)$$

у перетині 2-2:

$$\sigma = \frac{(12,78/2) \cdot 0,51}{0,1 \cdot 0,75^3} = 77,25 \text{ Н / мм}^2 (772 \text{ кГ / см}^2)$$

Коефіцієнт запасу міцності в небезпечному перерізі:

$$n = \frac{[\sigma_\phi]}{\sigma} = \frac{450}{81,44} = 5,52 \rightarrow [n] = 5,$$

тому розрахунок валка на витривалість не робимо.

Контактна напруга в поверхневому шарі валків

Наведений модуль пружності:

$$E_{np} = 2 \cdot E_p \cdot E_{on} / (E_p + E_{on}) = 1,4 \cdot 10^5 \text{ kH} / \text{мм}^2.$$

Контактна напруга:

$$\sigma_{\text{конт}} = 0,58 \sqrt{q \frac{E_{np}}{R_{np}}} = 0,58 \sqrt{\frac{10208 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 5}{192}} = 1582,4 \text{ H} / \text{мм}^2;$$

$$R_{np} = \frac{R_{on} \cdot R_p}{R_{on} + R_p} = \frac{585 \cdot 285}{585 + 285} = 192 \text{ мм};$$

$$q = P_{on} / b = 12,78 \cdot 10^6 / 1250 = 10208 \text{ H} / \text{мм}^2.$$

Визначаємо прогин опорного валка

$$J_1 = \pi D_4^4 / 64 = 3,14 \cdot 1,17 / 64 = 0,09 \text{ м}^4.$$

$$\left(\frac{J_1}{J_2} \right) = \left(\frac{P_{on}}{d_u} \right)^4 = \left(\frac{1,17}{0,65} \right)^4 = 10,5;$$

$$\left(\frac{D_{on}}{d_u} \right)^2 = \left(\frac{1,17}{0,65} \right)^2 = 3,24;$$

$$E_1 = 2,15 \cdot 10^{11} \text{ H} / \text{мм}^2;$$

$$G = 0,82 \cdot 10^{11} \text{ H} / \text{мм}^2;$$

$$f_1 = \frac{P}{384EJ_1} \left(8a^3 - 4ab^2 + b^3 + 64c^2 \left(\frac{J_1}{J_2} - 1 \right) \right);$$

$$f_2 = \frac{P}{\pi GD^2} \left(a - \frac{b}{2} + 2c \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right) \right);$$

$$f_1 = \frac{12,78 \cdot 10^6}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 0,09} (8 \cdot 2,7^3 - 4 \cdot 2,7 \cdot 1,25^2 \cdot 1,25^3 + 6,4 \cdot 0,51^2 (10,5 - 1)) = 0,00051 \text{ мм};$$

$$f_2 = \frac{12,78 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^4 \cdot 1,17^2} \left(2,7 - \frac{1,25}{2} + 2 \cdot 0,51 (3,24 - 1) \right);$$

$$\Delta f = \frac{P \cdot b}{2\pi GD^2} \left(1 + \frac{b}{80^2} (12a - 7b) \right) =$$

$$\frac{12,78 \cdot 10^6 \cdot 1,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^{11} \cdot 1,17^2} \left(1 + \frac{1,25}{8 \cdot 1,17^2} (12 \cdot 2,7 - 7 \cdot 1,25) \right) = 0,000008 \text{ мм}$$

Сумарний прогин валка по середині бочки:

$$f = f_1 + f_2 = 0,00051 + 0,00016 = 0,00067 \text{ мм.}$$

Пружна деформація в місці контакту опорного й робочого валків:

$$\delta_k = (1,3 \cdot q / E_{np}) \cdot l_g (1,65(D_1 + D_2)E_{np} / q) = (1,3 \cdot 10208 / 2,15 \cdot 10^5) l_g (1,65(1170 + 570)2,15 \cdot 10^5 / 10208) = 0,29 \text{ мм.}$$

Сумарна пружна радіальна контактна деформація двох пар валків робочої кліті:

$$\delta_k = 2\delta = 2 \cdot 0,29 = 0,58 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків

| Вузол | $M,$ $кН \cdot м$ | $P,$ $МН$ | $G,$ $Н / мм^2$ | $\tau,$ $Н / мм^2$ |
|--------|----------------------|--------------|--------------------|-----------------------|
| Валки | | | | |
| робочі | 2,04 | 0,72 | 11,02 | 51,11 |
| опорні | 6,63 | 12,78 | 41,4 | |

3.2 Висновки до розділу

Розрахунки на міцність валків показують, що розрахункові режими обтисків дозволяють експлуатувати вищеназвані механізми без перевантажень.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних і шкідливих виробничих чинників на ділянці цеху гарячої прокатки тонкого листа

Цех гарячої прокатки металу в своєму складі має ділянки з різними шкідливими умовами праці. Однією з основних ділянок цеху є стан гарячої прокатки, на якому проводять гарячу обробку металу тиском. Стан гарячої прокатки також має безліч ділянок: пічна, чорнова і чистова група клітей, хвостова частина.

Технологічний процес на НШСГП 1680 механізований і автоматизований, операції з металом здійснюються без безпосередньої участі обслуговуючого персоналу.

На виробництві застосовують наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці: захисні пристрої, що створюють перешкоду між людиною і небезпечним чинником, надійно оберігають працівника незалежно від правильності або не правильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів – відключення устаткування при порушенні контрольованого параметра (температури, тиску, переміщення, величини струму або напруги, зусилля); гальмівні пристрої для швидкої зупинки рухомих частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою або такою, що наступила небезпекою (світлова, звукова, кольорова і знакова). Велике значення має правильний розподіл функції між людиною і машиною для зменшення тяжкості праці [17].

Аналіз потенційних, небезпечних і шкідливих виробничих чинників виробничого середовища на безперервному тонколистовому стані 1680, приведений в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз потенційних, небезпечних і шкідливих виробничих чинників [17]

| Вид технологічних операцій | Устаткування | Небезпечні і шкідливі чинники | Можливі дії на людину |
|----------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Прокатка металу | Стан 1680 | Шум 105 дБА | Швидке стомлення, глухота. |
| | | Валки, що обертаються, рольганги, привод. | Травмування персоналу, що обслуговує при непередбачливому контакті. |
| | | Небезпечний рівень струму ($I=30A$) і напруги ($U=380V$). Інфракрасне випромінювання гарячого металу. Пил із вмістом хромового ангідриду $0,11\text{мг}/\text{м}^3$ (ГДК = $0,01\text{мг}/\text{м}^3$), пил фібро генної дії $8,5\text{мг}/\text{м}^3$ (ГДК = $4,0\text{мг}/\text{м}^3$). 3 клас небезпеки | Поразка електрострумом при дотику до струмопровідних частин. Погіршує зір. Негативна дія на легені, можливі захворювання органів дихання. |
| Транспортування металу | Мостові електрокрани | Рухомі механізми, метал, що транспортується | Механічні пошкодження, ожогові травми. |
| Допоміжні операції | Гідрообладнання, маслопідвали і ін. | Горючі речовини (водень, оксид вуглецю, природний, доменний газ, мазут, толуол, масла, деревина, гума і ін.), пари емульсії | Пожежонебезпека |

Мікроклімат визначається наявністю надмірного конвекційного і променистого тепла. Джерелами тепла є: прокатуваний метал, нагріте устаткування, механізми і комунікації, відкриті отвори або кришки нагрівальних пристроїв, горючі газ.

При обробці гарячого прокату робочим доводиться працювати в безпосередній близькості від гарячого металу. Наявність великих тепло надлишків в одному цеху обумовлює значне підвищення в ньому температур повітря, особливо в літню пору року.

На робочих місцях операторів чистової групи температура повітря досягає $35 - 40$ °С. Висока температура повітря або опромінювання тіла, утрудняє віддачу тепла, приводять до накопичення його в організмі, до перегріву [18]. При цьому різко посилюється робота серця, частішає дихання,

збільшується потіння і відбувається втрата необхідних солей. Простудні захворювання працівників стану значно частіші, ніж інших.

Оцінка шкідливих чинників виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оцінка чинників виробничого середовища трудового процесу

| Фактори виробничого середовища та процесу праці | Норм, зн. ПДК, ПДУ) | Фактич. знач. | III клас - шкідливі та небезпечні умови і характер праці | | | Час дії фактору %, за зміну |
|--|---------------------|---------------|--|--------|---------|-----------------------------|
| | | | I ст. | II ст. | III ст. | |
| Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : | | | | | | |
| I клас шкідливості | | | | | | |
| Ангідрид хромовий..... | 0,01 | 0,062 | | | 6,2 | 90 |
| Оксид марганцю | 0,05 | 0,39 | | | 7,8 | 90 |
| II клас шкідливості..... | | | | | | |
| Акролеїн..... | 0,2 | 0,66 | | 3,3 | | 90 |
| Сіководень | 10 | 3,87 | | | | 90 |
| III клас шкідливості | | | | | | |
| Ангідрид сірчаний..... | 10 | 16,83 | 1,68 | | | 90 |
| Вуглець оксид..... | 20 | 25 | 1,25 | | | 90 |
| Масла мінеральні | 5 | 6,78 | 1,4 | | | 90 |
| Пил переважно фіброгенної дії мг/м ³ | 4 | 26,3 | | | 6,58 | 90 |
| Шум, дБА | 80 | 105 | | | 25 | 100 |
| Мікроклімат в приміщенні: | | | | | | |
| - температура повітря, °С | 27 | 35 | | 5,1 | | 100 |
| - швидкість руху повітря, м/с | 0,5 | 2,1 | | 4,17 | | 100 |
| - відносна волога повітря, % | | 0,12 | | | | |
| - інфрачервоне випромінювання, Вт/м ² | 140 | 411 | | 411 | | 83 |

Висновок: Проаналізувавши небезпечні чинники, визначено 3 чинника I ст., 4 чинника II ст., 4 чинника III ст. Категорія тяжкості праці - важка Категорія напруженості праці - дуже напружена.

За даними Київського інституту гігієни праці і профзахворювань, продуктивність праці на робочих місцях, що піддаються тепловому опромінюванню знижується на 10 - 12%.

На стані велику небезпеку представляє електричний струм.

Дія шуму на операторів стану групи з великим значенням 105 дБА викликає стомлення слухового органу і приводить до глухоти, обумовленим невритом слухових нервів [19]. Шум на даній ділянці є причиною швидкого стомлення операторів, вальцівників і ін., що призводить до зниження продуктивності праці і збільшення браку.

Звуковий подразник впливає не тільки на органи слуху, але і на органи зору, на функціональний стан вестибулярного аналізатора, на вищу і вегетативну нервову діяльність працівників даної ділянки.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці на ділянці ШСГП 1680

Систематично проводиться вивчення рівня безпеки устаткування, технологічних та трудових процесів, розробляються і упроваджуються технічні та організаційні заходи, що забезпечують безпеку праці. Працівникам стану проводяться у встановлені терміни відповідні інструктажі по охороні праці: вступний, первинний, повторний, позаплановий, цільовий.

Заходи захисту від дії небезпечних і шкідливих чинників представлені в таблиці 4.3.

Мікроклімат в цеху локалізувати практично в цілому неможливо, але безпосередньо нормалізація мікроклімату на робочих місцях (пости управління станом, робочі зони і т.п.) можна провести установкою вентиляторів, кондиціонерів і інших пристроїв в приміщеннях операторів чистової групи [20].

Таблиця 4.3 – Заходи захисту від дії небезпечних і шкідливих чинників

| Небезпечний або шкідливий чинник | Захисний пристрій | Принцип призначення | Місце установки |
|---|------------------------------------|--|---|
| Підвищений рівень шуму | Звукоізолюючі kabіни і перегородки | Звукопоглинання і віддзеркаленні, ізоляція органів слуху | Біля джерела шуму, в приміщенні операторів |
| Теплові виділення | Витяжна вентиляція | Примусове механічне відсмоктування пари, що утворилася | Над станом |
| Рухомі частини механізмів | Кожуха, сітки, запобіжні пристрої | Захист від дотику з рухомими частинами і механізмами | У електросхемах приводів, навколо устаткування. |
| Інфрачервоне випромінювання гарячого металу | Світлові екрани (фільтри) | Захист органів зору | На постах чистової групи |
| Пил | Вологе прибирання пилеулавлювачів | Захист органів дихання | На стані |

Освітлення є одним з проблематичних питань, і зв'язано це з тим, що пил зменшує видимість і приводить до забруднення світлових ліхтарів цеху.

Для вирівнювання коефіцієнта освітленості застосовується примусове направлене освітлення шляхом установки на робочих місцях (у приміщеннях операторів чистової групи) прожекторів, які стабілізують освітленість і зменшують зорову напруженість працівників ділянки стану. Освітлення в цеху є основною вимогою і освітлення проводиться за допомогою дросельних (люмінесцентних) ламп.

Природне освітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися по формулі:

$$\begin{aligned}
 KEO_{\text{ln}}^4 &= KEO_{\text{ln}}^3 \cdot m \cdot e; \\
 KEO_{\text{ln}}^4 &= 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%;
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

де KPO_{ln}^3 – значення КПО для 3 пояси світлового клімату; m – коефіцієнт світлового клімату; e – коефіцієнт сонячності клімату.

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75 % максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

Засоби індивідуального захисту призначені, для захисту робочих цеху гарячої прокатки тонкого листа від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників, вогню і бризок розплавленого металу, падаючих предметів, забрудненого отруйними парами, газами і пилом повітря, електричного струму т.д. До засобів індивідуального захисту відносяться: спецодяг, спецвзуття, засоби захисту рук, органів дихання, очей і голови. Засоби індивідуального захисту повинні відповідати захисним, фізіолого-гігієнічним і експлуатаційним вимогам: бути нешкідливими, зручними і надійними в роботі, забезпечувати повітропроникність; легко очищатися від забруднень; зберігати свої захисні властивості після чищення.

Забезпечення робочих і службовців цеху засобами індивідуального захисту проводиться відповідно до «Типових галузевих норм» видачі спецодягу, спецвзутті і інших засобів індивідуального захисту і інструкцією про порядок, видачу, зберігання і користування спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями.

Спецодяг робочих стану повинен мати вогнезахисне просочення, щоб запобігти травмуванню іскрами гарячого металу і шлаку, і оберегти від опіку. У місцях (працюючи безпосередньо у 10-й кліті стану) вальцівники застосовують пилозахисний комбінезон з щільної бавовняної тканини.

Спецвзуття призначена для захисту ніг від ударів при падінні інструменту і деталей під час роботи і обертання їх від попадання іскри і бризок розплавленого металу, несприятливих метеорологічних умов зовнішнього середовища. Основними видами спецвзутті на стані є: черевики шкіряні, чоботи гумові, чоботи кирзові.

Для попередження попадання пилу і шкідливих хімічних речовин в організм операторів чистової групи необхідно користуватися засобами захисту органів дихання – респіраторами.

Для захисту органів зору від механічних травм, хімічних і термічного опіку і пошкоджень променистою енергією робочі стану користуються запобіжними окулярами або щитками.

Механічних травм очей завдаються частинками окалини, осколками металу. Для захисту очей працівників стану застосовують окуляри захисні відкритого і закритого типів.

Для захисту працівників стану від різкої або тривалої дії шуму застосовують проти шуми: навушники, шоломи, заглушки, що забезпечують ослаблення шуму до рівня, що не перевищує допустимий. Застосування засобів захисту слуху перешкоджає розвитку професійної глухоти.

На роботах, пов'язаних з небезпекою травмування голови (механічні пошкодження, поразки електричним струмом), як захисний засіб всі працівники стану застосовують захисні каски з пластмаси [20].

Аналіз матеріалів розслідування аварій показує, що 66,5 % вибухів, пожеж і загорянь відбувається в результаті помилок при експлуатації устаткування, з них 20 % аварій - через недотримання норм технологічного регламенту. Причини, пов'язані із зовнішніми впливами природного й техногенного характеру.

До зовнішніх впливів природного й техногенного характеру можна віднести:

- дуже сильний мороз ($- 30^{\circ}\text{C}$ и нижче);
- дуже сильна жара ($+ 40^{\circ}\text{C}$ и більш);
- зсувні явища, осідання (провал) земної поверхні;
- сильний вітер, включаючи шквали й смерчі;
- грозові розряди й розряди статичної електрики;
- влучення устаткування в зону дії вражаючих факторів аварій, що виникли на сусідніх об'єктах;
- аварії на комунально-енергетичних мережах;
- навмисні дії (диверсія) [19].

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши вплив факторів прокатки (температура, швидкість, сила, тертя) на режим деформації штаби було визначено оптимальні ступені обтисків у кожній кліті для отримання штаби заданої товщини. Встановлено, що за рахунок збільшення і вирівнювання більшою мірою температури задніх кінців штаби знижуються відходи в обрізь.

Розраховані оптимальні режими обтискень для профілю, товщиною 5,5 мм і енергосилові параметри прокатки даних штаб.

Виконані розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей стану - робочих і опорних валків. Розрахунки на міцність валків показують, що запропоновані режими обтисків дозволяють експлуатувати вищеназвані механізми без перевантажень, вузли мають достатній запас міцності і мінімальні деформації.

Запропоновано заходи щодо зниження впливу шкідливих і небезпечних факторів виробничого процесу, а також рішення по захисту навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Серета Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.
2. Серета Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.
3. Василёв Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали : учебник для вузов. Киев : Вища школа, Головное издательство, 1976. 192 с.
4. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства : учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311 с.
5. Сафьян М.М., Мазур В.Л., Сафьян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351 с.
6. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. /– Запорожье ЗГИА, 2008. 224 с.
7. Чащин В. В., В. А. Капитанов, Попов Е. С. Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне. *Производство проката*. 2008. № 8. С. 17-23.
8. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
9. Серета Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.
10. Серета Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

11. *Середа Б.П.* Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.
12. Дубовский Б. А., Никифоров Б. А., Радионова Л. В. Исследование влияния технологических параметров горячей прокатки на структуру низкоуглеродистых и низколигированных марок стали. Производство проката. 2006. №10. С. 15-20.
13. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2004. 31 с.
14. Бойчик И. М. Экономика предприятия : учебное издание. Киев : Атика, 2002. 480 с.
15. Покропивного С. Ф. Экономика предприятий : учебник. За об. ред. С.Ф. Покропивного. изд.2-е, переред. и доп. Киев : КНЕУ, 2001. 528 с.
16. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. учебник. изд. 2-е, дополненное. Львов : Афиша, 2000. 350 с.
17. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. Киев : Техника, 1991. 285 с.
18. Панасейко С. П. Гигиена труда и производственная санитария : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 232 с.
19. Панасейко С. П. Методические указания для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Охрана труда» (раздел «Вентиляция и кондиционирование»). Запорожье : ЗГИА, 2002. 45 с.
20. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев : Высшая шк., 1978. 328 с.
21. Рижков В. Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності „Металургія чорних металів” спеціалізації „Охорона праці та екологія металургійного виробництва” денної та заочної форм навчання / Укл.: В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2004. 60 с.