

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра Обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

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

на тему Аналіз та розробка режиму деформації на безперервних станах
гарячої прокатки

Виконав: студент __2__ курсу, групи 8.1360-омт-з

Мартинішин Дмитро Володимирович _____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

136 Металургія _____
(шифр і назва)

спеціалізація

_____ (шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском _____
(шифр і назва)

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

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

Кафедра Обробки металів тиском

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 Металургія
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ
Ю.О. Белоконь

“ 01 ” 07 2021 року

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

Мартинішину Дмитру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз та розробка режиму деформації на безперервних станах гарячої прокатки

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “30” 06 2021 року № 975-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 24.11.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Визначення параметрів оптимізації прокатування інструментальної сталі на безперервних станах гарячої прокатки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-розрахункова частина. Параметри оптимізації прокатування інструментальної сталі. Охорона праці та техногенна безпека. Економічні аспекти. Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 13 слайдах (на 13 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата |
|--|---|------------------|
| | | завдання прийняв |
| <i>Аналітично-пошукова частина</i> | <i>Кругляк Д.О., доцент</i> | |
| <i>Дослідницько-розрахункова частина</i> | <i>Кругляк Д.О., доцент</i> | |
| <i>Параметри оптимізації прокатування інструментальної сталі</i> | <i>Кругляк Д.О., доцент</i> | |
| <i>Охорона праці та техногенна безпека</i> | <i>Кругляк Д.О., доцент</i> | |
| <i>Економічні аспекти</i> | <i>Кругляк Д.О., доцент</i> | |

7. Дата видачі завдання 01.07.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1 | <i>Вступ</i> | 29.09.2021 - 12.10.2021 | |
| 2 | <i>Реферат</i> | 12.10.2021 - 16.10.2021 | |
| 3 | <i>Аналітично-пошукова частина</i> | 29.09.2021 - 11.10.2021 | |
| 4 | <i>Дослідницько-розрахункова частина</i> | 12.10.2021 - 07.11.2021 | |
| 4 | <i>Параметри оптимізації прокатування інструментальної сталі</i> | 17.10.2021 - 30.10.2021 | |
| 5 | <i>Охорона праці та техногенна безпека</i> | 24.10.2021 - 15.11.2021 | |
| 6 | <i>Економічні аспекти</i> | 30.10.2021 - 17.11.2021 | |
| 7 | <i>Висновки</i> | 15.11.2021 - 17.11.2021 | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____ Д.В. Мартинішин
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Об'єкт розробки – клас об'єктів, спільним для яких є наявність агрегату для нагріву металу і клітей для прокатки нагрітого металу при виробництві гарячекатаної штаби і включає печі для нагріву металу, чорнову і чистову групи клітей для прокатки штаби.

Мета роботи – аналіз температурно-швидкісних режимів прокатки, що забезпечує підвищення ефективності виробництва і поліпшення якості гарячекатаних штаб інструментальної сталі.

Проаналізовано теоретичні та практичні формули, а також оптимальні температурно-швидкісний параметри при прокатці на стані гарячої прокатки 1680 ВАТ «Запоріжсталь» штаби інструментальної сталі.

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

АННОТАЦИЯ

Объект разработки - класс объектов, общим для которых является наличие агрегата для нагрева металла и клетей для прокатки нагретого металла при производстве горячекатаной полосы и включает печи для нагрева металла, черновую и чистовую группы клетей для прокатки полосы.

Цель работы - анализ температурно-скоростных режимов прокатки, что обеспечивает повышение эффективности производства и улучшение качества горячекатаных полос инструментальной стали.

Проанализированы теоретические и практические формулы, а также оптимальные температурно-скоростной параметры при прокатке на стане горячей прокатки 1680 ОАО «Запорожсталь» штабы инструментальной стали.

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

ANNOTATION

The property development - the class of objects, common for which is the presence of a unit for heating the metal and cages for rolling of heated metal in the production of hot rolled sheet and includes the furnaces for heating the metal, the roughing and finishing groups of rolling cages headquarters.

The work purpose - control the temperature-speed mode of rolling, which ensures increase of production efficiency and improvement of quality of hot-rolled tool steel headquarters.

Theoretical and practical formulas, as well as optimum temperature-speed parameters during rolling on the state of hot rolling «Zaporizhstal» 1680 JSC of the headquarters of instrumental steel are analyzed.

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної магістерської роботи: 112 с., 19 рис., 13 табл., 24 літературних джерел.

Об'єкт розробки – клас об'єктів, спільним для яких є наявність агрегату для нагріву металу і клітей для прокатки нагрітого металу при виробництві гарячекатаної штаби і включає печі для нагріву металу, чорнову і чистову групи клітей для прокатки штаби.

Мета роботи – аналіз температурно-швидкісних режимів прокатки, що забезпечує підвищення ефективності виробництва і поліпшення якості гарячекатаних штаб інструментальної сталі.

Проаналізовано теоретичні та практичні формули, а також оптимальні температурно-швидкісний параметри при прокатці на стані гарячої прокатки 1680 ВАТ «Запоріжсталь» штаби інструментальної сталі.

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

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ШТАБА, ШСГП, ОБТИСК, ПОТОВЩЕННЯ, КІНЦЕВА ДІЛЯНКА, СОІЛВОХ, ПЕРЕМОТУВАННЯ, ОСЕРЕДОК ДЕФОРМАЦІЇ, ТЕМПЕРАТУРА ШТАБИ, ВАЛОК.

ABSTRACT

The explanatory note to final qualifying master work 112 s. 19 fig. 13 table. 24 literature.

The property development - the class of objects, common for which is the presence of a unit for heating the metal and cages for rolling of heated metal in the production of hot rolled sheet (the main type of products of the metallurgical plant) and includes the furnaces for heating the metal, the roughing and finishing groups of rolling cages headquarters.

The work purpose - control the temperature-speed mode of rolling, which ensures increase of production efficiency and improvement of quality of hot-rolled tool steel headquarters.

Theoretical and practical formulas, as well as optimum temperature-speed parameters during rolling on the state of hot rolling "Zaporizhstal" 1680 JSC of the headquarters of instrumental steel are analyzed.

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

HOT ROLLING, STRIP, FHPBB, COBBING, BULGE, END PLOT, COILBOX, BACK-WINDING, DEFORMATION CORE, TEMPERATURE STAFF, ROLL.

ЗМІСТ

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА | 11 |
| 1.1 | Технологічний процес прокатки інструментальної сталі на ШСГП 1680 | 11 |
| 1.2 | Аналіз впливу температур при прокатуванні на перетворення у сталі..... | 21 |
| 1.3 | Визначення оптимальних умов температурно-швидкісних параметрів | 24 |
| | Висновки..... | 28 |
| 2 | ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА | 29 |
| 2.1 | Аналіз режиму обтиснення інструментальних сталей | 29 |
| 2.2 | Алгоритм розрахунку швидкості прокатування..... | 36 |
| 2.3 | Алгоритм розрахунку температури..... | 37 |
| 2.4 | Способи зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу стану гарячої прокатки, їх теплова і енергетична ефективність | 39 |
| | Висновки..... | 56 |
| 3 | ПАРАМЕТРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОКАТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ | 58 |
| 3.1 | Розрахунок кінематичних і енергосилових параметрів прокатування до оптимізації одержання штаби з розмірами 2,7×1050 Ст. 70Г на стані ШСГП 1680 | 58 |
| 3.2 | Розрахунок кінематичних і енергосилових параметрів прокатування після оптимізації одержання штаби з розмірами 2.7×1050 Ст. 70Г на стані ШСГП 1680 | 83 |
| 4 | ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА..... | 93 |
| 4.1 | Характеристика потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища..... | 93 |
| 4.2 | Заходи з поліпшення умов праці | 96 |

| | |
|--|-----|
| | 8 |
| 4.3 Електробезпека | 98 |
| 4.4 Пожежна та техногенна безпека | 99 |
| 4.5 Розрахунок межі вогнестійкості стін складу масел..... | 102 |
| 5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ | 105 |
| 5.1 Проблеми ресурсозбереження в умовах металургійних підприємств України | 105 |
| 5.2 Проблеми споживання металопрокату в Україні | 106 |
| ВИСНОВКИ | 109 |
| ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА | 110 |

ВСТУП

Листовий прокат є найважливішим конструкційним матеріалом, застосування якого в усьому світі постійно збільшується. Ця тенденція буде зберігатися ще багато років, так як інші матеріали в доступному для огляду майбутньому не зможуть з ними конкурувати по вартості, показникам якості, або обсягами виробництва.

В даний час йде інтенсивне технічне переозброєння підприємств, що випускають листовий прокат, з переходом на енергозберігаючі технології, що призводить до зниження собівартості продукції, що випускається і підвищенню її якості.

Широкоштабова сталь виробляється в Україні на двох металургійних комбінатах - ВАТ «Запоріжсталь» (широкоштабовий стан гарячої прокатки 1680, введений в експлуатацію 1938 році.) і ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат» (широкоштабовий стан гарячої прокатки 1700, введений в експлуатацію в 1960).

Ці два широкоштабових стана України до теперішнього часу в якості заготовки використовують сляби, отримані на слябінгу прокатки зі злитків. Широкоштабовий прокат вітчизняного виробництва поступається закордонному по точності геометричних розмірів і стабільності механічних властивостей, хоча і відповідає вимогам стандартів, в тому числі і деяких міжнародних.

. В умовах різкої і часто непередбачуваної зміни цін на метал і енергоресурси використання інноваційних технологій в чорній металургії дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва і, відповідно, конкурентоспроможність продукції, що випускається металопродукція.

Температурно-швидкісний режим прокатки є одним з основних факторів, що визначає продуктивність і якість гарячекатаної продукції. Регулювання температури металу в ключових точках технологічної лінії «нагрів слябів - гаряча прокатка штаб» дозволяє підвищити швидкість прокатки і скоротити

ресурсо- і енерговитрати що, в свою чергу, призводить до скорочення витрат виробництва.

Стосовно до листопрокатного комплексу мають місце дві проблеми подальшого підвищення ефективності виробництва:

- недостатнє використання швидкісних можливостей стану при забезпеченні високої якості прокату;

- висока енергоємність листопрокатного комплексу «печі - стан», відсутність теоретичного обґрунтування принципів енергозбереження, а також автоматизованих систем, що дозволяють реалізувати енергозберігаючі принципи і наукомісткі технології.

1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА

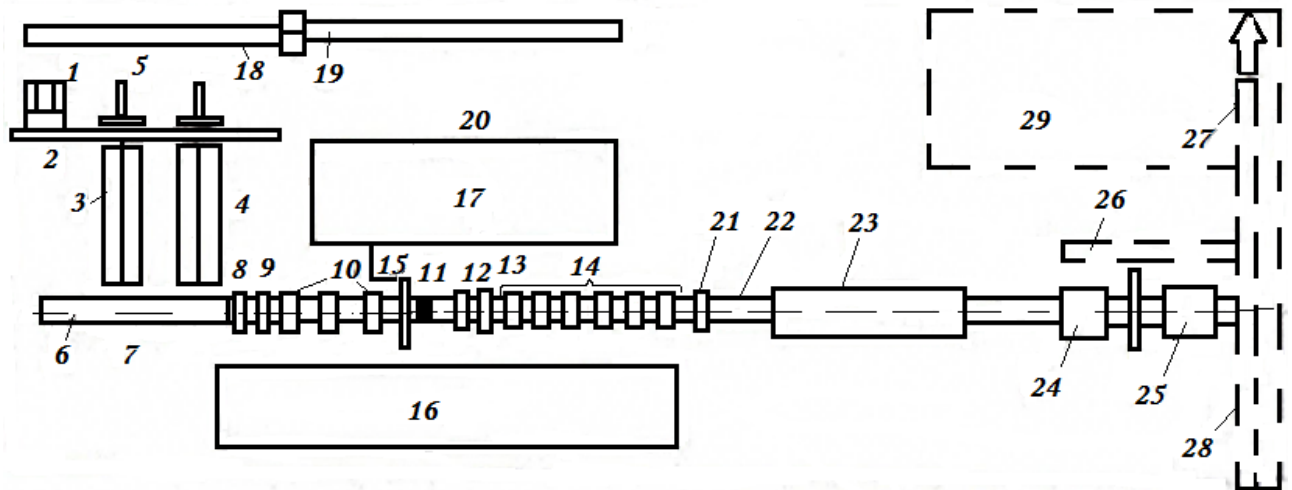
1.1 Технологічний процес прокатки інструментальної сталі на ШСГП 1680

Безперервний стан 1680 гарячої прокатки штаб побудований (рис. 1.1) в 30-ті роки ХХ століття. На цьому стані прокатують штаби товщиною 1,5 - 8 мм, шириною 1000 - 1500 мм з маловуглецевих марок сталі. З нержавіючих і легованих марок сталей прокатують також штаби товщиною $h > 3,5$ мм і шириною $B < 1300$ мм. Заготівлею для штаби слугують сляби товщиною 120 - 165 мм, масою $G = 5,5$ т і довжиною $L_{сл} = 4,5 - 4,7$ м, з яких прокатують штаби товщиною $h < 2,5$ мм ($B = 1000$ мм), а з слябів масою $G < 15$ т і довжиною $L_{сл} = 9 - 9,5$ м прокочують штаби товщиною $h > 2,5$ мм.

На стані встановлені п'ять методичних чотирьохзонних печей з глісажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового та природного газів, калорійністю 1070 - 1350 ккал / м³. Однак у зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використовуються періодично 1 - 2 печі для прокатки зворотніх або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл 1 і по рольгангу 2 до печей. Посадка слябів в печі 3, 4 виконується штовхачами 5. Одночасно з печей видаються нагріті сляби (нагрівання ведеться до температури 1250°C), на нижній пічний рольганг 6 а далі на стан.

Так як на безперервному тонколистовому стані всі 10 робочих клітей розташовані один за одним, прокатуваний метал рухається на стані суцільним потоком по одній лінії.

У чорновій групі стану розкат знаходиться одночасно лише в одній кліті. Чорновий і чистовий окалиноломателі "зламують" окалину, яка потім видаляється водою високого тиску.



1 – завантажувальний стіл для слябів; 2 – завантажувальний рольганг; 3, 4 – нагрівальні печі; 5 – штовхач слябів; 6 – транзитний рольганг від слябінга; 7 – теплові екрани 8 – двухвалковий окалиноломатель; 9 – перша чорнова кліть кварто; 10 – чорнові кліті з вертикальними валками; 11 – ППП; 12 – летючі ножиці; 13 – чистовий окалиноломатель; 14 – шість клітей кварто (№№ 5-10) чистової групи; 15 – індукційна установка для підігріву робочих валків перед встановленням в кліть; 16 – машинний зал; 17 – валковошліфувальна майстерня; 18 – рельси від слябінга; 19 – теліжка; 20 – ділянка станків для зачистки поверхні слябів із якісних марок сталі; 21 – вимірювач розмірів штаб; 22 – відвідний рольганг; 23 – душируюча установка; 24, 25 – моталки; 26 – конвеєр прибирання рулонів; 28 – конвеєр рулонів в ЦХП; 29 – ділянка розділки рулонів.

Рисунок 1.1 – Схема розташування устаткування ШСГП 1680

Крім того, чорновий окалиноломатель 8 як і робоча кліть, виробляє обтиснення до 25%. Кліті з вертикальними валками забезпечують зняття розширення, одержуваного при деформації розкату горизонтальними валками.

Розкат з чорнової групи надходить до летючих ножиць для обрізки переднього і заднього кінця. Потім захоплюється валками чистової групи, а саме чистовим окалиноломателем і першою кліттю чистової групи. У чистовій групі штаба знаходиться одночасно у всіх клітях[1].

Таблиця 1.1 – Допустимі максимальні обтиски по клітям чорнової групи в залежності від ширини сляба.

| <i>кліть</i> | Максимальний обтиск при прокатці вуглецевої і низьковуглецевої сталі, % |
|--------------|---|
| | Ширина сляба 1250 мм |
| дуо | 25 |
| №1 | 37 |
| №2 | 40 |
| №3 | 40 |
| №4 | 40 |

Для забезпечення нормального процесу прокатки забезпечується рівність секундних обсягів.

$$V5 * h5 * b5 = V6 * h6 * b6 \dots V10 * h10 * b10; \quad (1.1)$$

Так як ширина штаби практично не змінюється, то рівність секундних обсягів буде виконуватися і виглядати наступним чином:

$$V5 * h5 = V6 * h6 \dots V10 * h10; \quad (1.2)$$

Перед змотуванням в рулони штаба охолоджуються. Охолодження штаб в душируючій установці. Температуру змотування штаби оператор моталок регулює шляхом включення / вимикання певної кількості верхніх і нижніх ванн душируючої установки. Змотка штаби в рулони забезпечує щільне притискання витків рулону один до одного з телескопічності в межах стандартів, технічних умов і стандартів підприємства.

Проміжний перемотувальний пристрій

ППП (рис.1.3) встановлено в лінії стану 1680 (на проміжному рольгангу між чорною і чистою групою клітей) з метою розширення сортаменту

рулонів подвійної маси, зниження температурного клину розкату (різниці температур переднього і заднього кінців підкату), збереження і вирівнювання по довжині розкату температури металу. Це досягається шляхом змотування розкату в рулон, з подальшим його розмотуванням і поданням заднім кінцем в чистову групу клітей стану[2].

Проміжний перемотувальний пристрій Coilbox може працювати в трьох режимах:

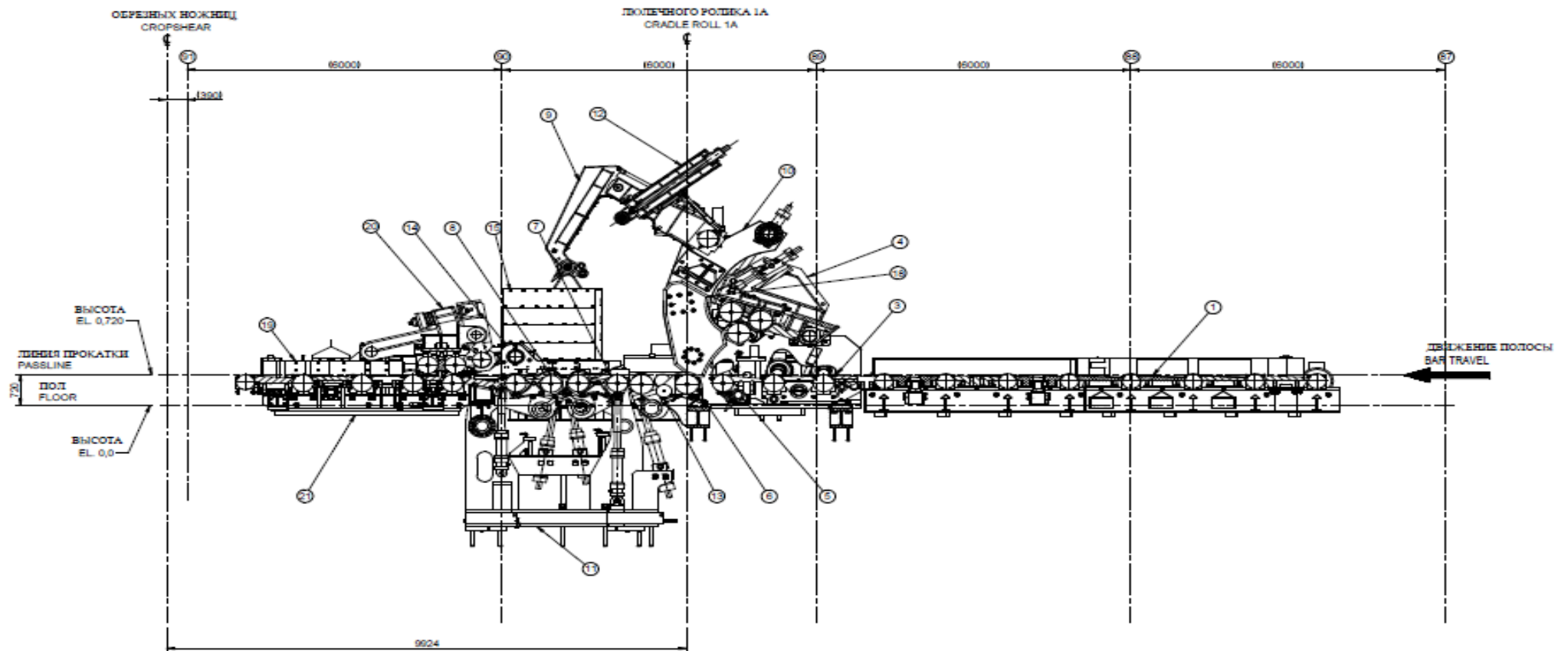
- робота в автоматичному режимі;
- робота в ручному режимі;
- моделювання роботи "Coilbox"

Режим роботи ППУ в автоматичному режимі.

Робота в автоматичному режимі є основним режимом обробки гуркоту.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики "Coilbox"

| | |
|---|---|
| Марки сталі | низьковуглецева і високовуглецева сталь, високоміцна низьколегована сталь, нержавіюча сталь |
| Товщина розкату | 18-36 мм |
| Ширина розкату | 850- 1520 мм |
| Температура розкату | 950- 1150 °С |
| Удільна маса рулону, на од.ширини | 4.5 - 12.5 кг/мм |
| Маса рулону | 4.5 - 18.6 тон |
| Внутрішній діаметр рулону, змотаного на ППП | 600 - 650 мм |
| Максимальний зовнішній діаметр рулону, змотаного на ППП | 1600 мм |
| Заправочная швидкість "Coilbox" | 2.0 - 4.5 м/сек |
| Максимальна робоча швидкість "Coilbox" | 4.5 м/сек |
| Максимальна швидкість розмотування | 2.5 м/сек |
| Швидкість різа головної частини розкату на кінцевих ножицях | 2.0 м/сек |
| Швидкість зближення с чистовою кліттю №5 | 2.0 м/сек и 1.5 м/сек |
| Мінімальний час паузи між розкатуванням перед чистовою кліттю № 5 | 5 секунд |



1 – підвідний рольганг і вхідні бічні напрямні; 3 - вхідний жолоб; 4 - гнучкі ролики; 5 - формуючий ролик; 6 - колискові ролики № 1; 7 - колискові ролики № 2; 8 - колискові ролики № 3; 9 - важіль отгибачі; 10 - основна рама; 11 - надбудова колискових роликів; 12 - прижимний ролик; 13 - виштовхуючий ролик; 14 - бокові напрямні розмотування; 15 - теплові екрани; 18 - стабілізатори; 19 - вхідні бічні напрямні кінцевих ножиць; 20 - верхній правильний механізм з тягучими роликами; 21 - нижній правильний механізм з тягучими роликами

Рисунок 1.2 – Загальний вид ППП «Coilbox»

Система управління "Coilbox" відстежує проходження всіх слябів з моменту їх наближення до кліті ДУО до моменту виходу хвоста з чистової кліті № 5, щоб визначити, чи буде готовий "Coilbox" прийняти розкат який наближається в разі затримки в "Coilbox"[3].

Час між розкатом (паузи) розраховується з урахуванням мінімального інтервалу і фактичної інформації про становище гуркоту, що надходить від чорнової кліті № 1.

ВАТ "Запоріжсталь" спеціалізується, в основному, на виробництві маловуглецевих, низьколегованих марок сталей. На відміну від маловуглецевих сталей середньовуглецеві сталі (45, 50, 55) і леговані інструментальні сталі (60Г-70Г) мають знижену пластичність, чутливість до утворення тріщин і іншими негативними чинниками, з точки зору гарячої прокатки, отже, їх виробництво має ряд особливостей в порівнянні з маловуглецевими сталями, які необхідно враховувати при розробці технології виробництва. Як правило, виплавка середньовуглецевих і легованих інструментальних марок сталей робиться в електродугових печах, з обов'язковим подальшим доведенням і рафінуванням сталі. Розливання сталі у зв'язку з підвищеною чутливістю до утворення тріщин, як правило, робиться в зливки малої маси (до 6 т)[4].

Приведені результати освоєння і особливості виробництва легованих інструментальних сталей 60Г-70Г стосовно існуючого устаткування ВАТ "Запоріжсталь", як найбільш трудомістких в прокаті з названих вище за марки сталі. Хімічний склад сталей марок 45, 55 по ГОСТ 1050-88, сталей марок 60Г-70Г по ГОСТ 14959. Виплавка цих сталей на комбінаті робиться в мартенівських печах з розливанням в зливки масою 13–16 т. Після кристалізації зливки негайно транспортуються в обжимний цех для подальшого їх нагріву в регенеративних нагрівальних колодязях. Посадка злиwkів в колодязі робиться тільки гарячим всадом при температурі злиwkів 800-900 °С, з подальшим нагрівом в колодязях до 1250-1270 °С. Прокатка злиwkів сталей 60-70Г робиться на стані "Слябінг 1150" за 25-27 проходів на сляби перерізом (150-160) x (1000-1250) мм.

Враховуючи підвищену чутливість до утворення тріщин легованих інструментальних сталей і з метою зменшення дефектів від температурної напруги, при прокатці зливків кількість води, що подається, для охолодження валків обтискового стану знижується удвічі, в порівнянні з мало вуглецевими сталями. Нині на комбінаті діє технологія прямої (транзитної) прокатки слябів на гарячекатані штаби в лінії НТЛС - 1680, тобто сляби прокатуються з одного нагріву зливків, минувши нагрів слябів в методичних печах. Знижена пластичність легованих інструментальних сталей 60Г-70Г, порівняно низька температура нагріву зливків і особливо підвищена забороченість поверхні слябів різними дефектами типу "полону", "дрантя", "тріщина" (до 70 % слябів в плавці) не дозволяє робити прокатку слябів за технологією транзитної прокатки.

Як згадувалося раніше, до 94 % слябів з вуглецевої і низьколегованої сталі на НТЛС - 1680 катається за технологією прямої (транзитної), минувши методичні печі, прокатка. Середньовуглецеві і леговані інструментальні сталі можуть бути прокатані тільки після попереднього нагріву в методичних печах і в проміжках між транзитним прокаткам. Сляби з середньовуглецевих і інструментальних сталей сідають в методичні печі НТЛС - 1680 партіями 40-60 тонни, нагріваються до температури 1200-1250 °С (температура печі в 1-ій зварювальній зоні - 1240–1300 °С і томильної зоні - 1240-1290 °С). Тривалість нагріву слябів в зоні високих температур (1-ою зварювальною і томильною зонах) не повинна перевищувати 6 ч. Це обумовлено організаційними питаннями видачі металу з методичних печей у поєднанні з транзитним прокаткам, а також схильністю цих сталей до підвищеного окалинообразованию при високих температурах.[5]

Прокатка слябів середньо вуглецевих і легованих інструментальних сталей, як правило, робиться перед плановою перевалкою робочих валків чистової групи НТЛС - 1680. Прокатка здійснюється з темпом один гуркіт в лінії стану. Основні температурні параметри прокатка середньовуглецевих і легованих інструментальних сталей 60Г-70Г на НТЛС - 1680:

- температура гуркоту після чорнової групи НТЛС 16 - 1070-1120 °С;
- температура кінця прокатки штаб - 790-910 °С (80нижня межа для штаб завтовшки 2,7 мм, верхній для штаб завтовшки 3,9-6,0 мм вибрані з умов формування пластичної структури зерна перліту в прокаті);
- температура змотування штаб в рулон ~ 650-720 °С (без попереднього охолодження водою) обумовлена втратами тепла при транспортуванні штаб до змотування.

Леговані інструментальні сталі 60Г-70Г мають знижену в порівнянні з маловуглецевими і низьколегованими сталями пластичність, особливо в ділянці низьких (до 600 °С) температур (рис.1.3). Охолодження гуркотів по довжині в процесі гарячого прокатки відбувається нерівномірно. Особливо інтенсивно охолоджуються торцеві кромки відносно тонких штаб в чистовій групі клітей. Особливістю середньовуглецевих і інструментальних сталей являється те, що передні кінці прокатуваних штаб охолоджуються нижче 600 °С, а іноді і підгартують. В цьому випадку межа плинності сталі 65Г може досягати 770 МПа.

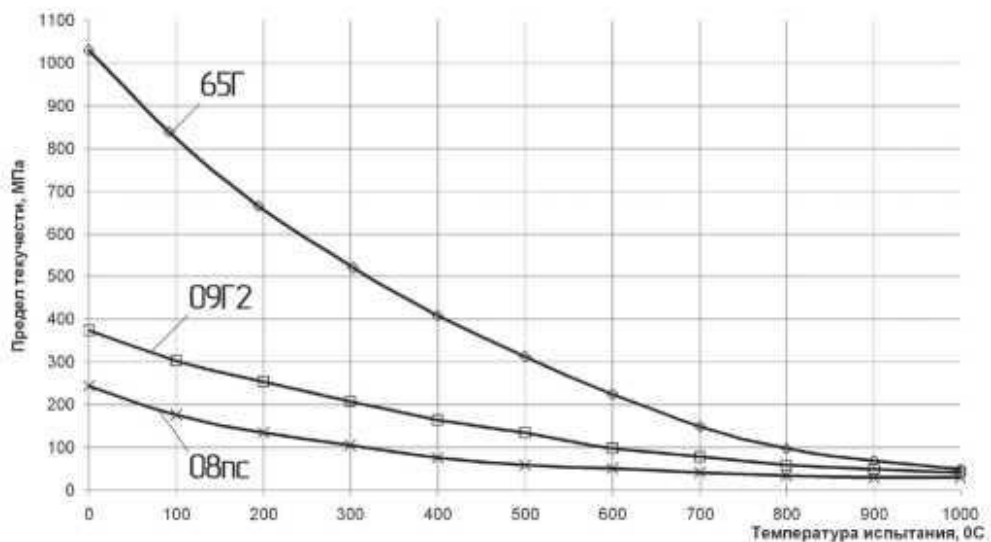


Рисунок 1.3 – Зміна межі плинності сталей марок 08пс, 09Г2, 65Г залежно від температури випробувань.

Прокатка штаб з підстудженими кінцями, що підгартують, характеризується значними піковими динамічними навантаженнями на кліті

чистої групи НТЛС - 1680 при захопленні, що згодом призводило до ушкоджень поверхні робочих валків, а також роликів моталок, що тягнуть, у зв'язку з тим, що твердість бочки роликів, що тягнуть, складає 230-250 НВ і порівнянна з твердістю кінців штаб 250-260 НВ. Зважаючи на специфіку фізичних і технологічних властивостей легованих інструментальних сталей для зменшення підстуджування передніх кінців штаб, оптимізації процесу прокатки на НТЛС - 1680 впроваджені наступні заходи:

- після зачистки поверхневих дефектів прийняті ОТК, придатні для подальшого переділу сляби завантажуються в 1-2 методичних печі ЦГПТЛ для нагріву. Посадка робиться разовими партіями з урахуванням ширини слябів і довжини томильної зони печей : сляби шириною 970-1150 мм сідають по 8 (16 на 2 печі) штук, сляби шириною 1160-1250 мм сідають по 7 (14) штук;

- максимальний загальний час нагріву для слябів шириною 970-1150 мм обмежений до 8 ч; для слябів шириною 1160-1245 мм - до 11 ч. Максимальна тривалість нагріву слябів в 1-ій зварювальній і томильній зонах печі для слябів шириною 970-1150 мм не більше 4 ч; для слябів шириною 1160-1245 мм - не більше 6 ч;

- при плющенні слябів середньовуглецевих і легованих інструментальних сталей об'єм води, що подається на охолодження робочих валків, знижується: на усіх клітках чорної групи закривається вода з боку входу гуркоту у валяння; у клітках 5-7 об'єм охолоджувальної води знижується на 35-40 %, а в клітках 8-10 - на 30-35 %. При цьому загальна витрата води для охолодження робочих валків чистої групи повинна складати близько 2800 м³/ч;

- включення гідросбива окалини з поверхні гуркоту перед чистою групою клітей робиться на відстані 0,5-1,0 м після переднього кінця гуркоту;

- температурний режим прокатки і змотування : для штаб завтовшки 3,0-3,4 мм - температура кінця прокатки 840-900 °С, для штаб 3,5-6,0 мм - 850-910 °С;

- охолодження гарячекатаних штаб перед змотуванням на моталках - на повітрі. Примусове охолодження водою неприпустимо.

Впровадження перерахованих заходів дозволило:

- значно стабілізувати процес прокатки в чистовій групі клітей НТЛС - 1680;

- зменшити підстуджування передніх кінців і, як наслідок, зменшити динамічні навантаження при захопленні штаби валяннями до близьких до рівня прокатки рядових маловуглецевих сталей (таблиця. 1.3), і понизити кількість випадків утворення відбитків на робочих валках чистової групи стану і роликах моталок, що тягнуть.

Таблиця 1.3 – Енергосилові параметри прокатки гарячекатаних штаб в чистовій групі НТЛС- 1680

| Товщина штаби, мм | Товщина підкута, мм | Навантаження на двигуни по клітях чистової групи , кНм | | | | | | | | | | Швидкість штаби після кліті №10, м/с | | |
|--------------------|---------------------|--|------------------------|---------|------------------------|--------|------------------------|---------|------------------------|--------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|------|
| | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | | 10 | |
| | | захват | Процес, що встановився | захват | Процес, що встановився | захват | Процес, що встановився | захват | Процес, що встановився | захват | Процес, що встановився | захват | Процес, що встановився | |
| а) Сталь марки 65Г | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,7 | 21 | 116-125 | 101 | 130 | 113 | 128 | 110 | 135 | 112 | 105 | 81-113 | 46-86 | 40-45 | 8,04 |
| 6,0 | 23 | 82-131 | 65-85 | 92-124 | 73-88 | 130 | 95-105 | 117-133 | 73-81 | 99-119 | 58-73 | 64-76 | 44-57 | 5,57 |
| б) Сталь марки 3пс | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,0 | 22 | 107-121 | 81-87 | 117-146 | 91-97 | 125 | 91-93 | 128 | 84-87 | 136 | 78-81 | 73-89 | 44-48 | 8,28 |

Примітка: номінальне навантаження на двигуни - 196,6 кН-м.

Технологія, що враховує фізико-механічні особливості середньо вуглецевих і легованих інструментальних сталей, дозволила освоїти на НТЛС - 1680 виробництво гарячекатаних штаб із сталей 45,50,55 і 60Г-70Г розмірами (2,7-6,0) x (1000- 1250) мм з механічними властивостями.

Гарячекатаний підкат відповідає вимогам для виробництва товарного гарячекатаного листа розмірами (2,7-6,0) x (1000-1250) мм, з характеристиками якості по ГОСТ 1577-93 (ТУ 14-15-330-94) і товарного холоднокатаного листа

розмірами (0,8-2,0) x (1000- 1200) мм, з характеристиками по ТУ 14-15-330-94 [6].

1.2 Аналіз впливу температур при прокатуванні на перетворення у сталі

Нагрівання металу перед прокаткою здійснюється з метою підвищення його пластичності і зменшення його опору деформації. Нагрівання є однією з важливих і основних операцій в процесі прокатки. Вона повинна забезпечити рівномірний розподіл температури по перетину металу, що прокатується, його мінімальне окислення і зневуглецювання. Характер передачі тепла визначає спосіб нагріву металу. Розрізняють два способи: прямий і непрямий. Якщо тепло акумулюється безпосередньо в самому металі, а температура навколишнього середовища залишається нижче температури металу, то такий спосіб називається прямим. Якщо тепло металу передається за рахунок зіткнення його поверхні з будь-яким середовищем (газоподібної, рідкої, твердої), нагрітим до більш високої температури, то такий спосіб нагріву називається непрямим. Передача тепла металу при непрямому нагріванні відбувається за рахунок конвекції і випромінювання. Кількість тепла, що передається випромінюванням в нагрівальних печах, досягає 80% всього тепла. Підвищення температури металу при його нагріванні, як правило, сприятливо впливає на процес прокатки. Однак при нагріванні вище певної для даної сталі температури відбувається зростання зерна, яке веде до ослаблення зв'язку між ними і тим самим до погіршення механічних властивостей сталі. Що призводить до утворення на металі тріщин. Таке явище називається перегрівом. Іноді властивості перегрітої сталі можна поліпшити, піддавши її термічній обробці. Сильний перегрів виправити не можна. При температурах нагріву, близьких до точки плавлення сталі, всередину її проникає кисень, який окисляє зерна. В результаті зв'язок між зернами сталі настільки послаблюється, що

метал при прокатці руйнується. Це явище називається перепал. Воно відбувається тим легше, чим вище температура нагріву і чим більше окислювальна атмосфера в печі. Явища перегріву і перепалу найчастіше можливі при вимушеній затримці металу в печі. Щоб уникнути перегріву і перепалу необхідно знижувати температуру печі і зменшувати кількість повітря, що подається. При призначенні режимів нагріву металу зазвичай походять від наступних параметрів: температури і швидкості нагріву, часу витримки при постійній температурі (томління). При прокатці метал нагрівають до можливо високих температур, так як в цьому випадку знижуються витрата енергії, зусилля деформації, знос інструменту. При призначенні температури нагріву, як правило, верхня межа температури нагріву обмежується явищами перегріву і перепалу і встановлюється на 100-150 °С нижче точки плавлення, а нижня межа - температурою рекристалізації, тобто мінімально допустимою температурою кінця прокатки. У деяких сталей і сплавів температурний інтервал прокатки досить вузький, обмежений різними змінами в структурі металу [7].

При прокатці металу, що має температуру вище температури рекристалізації, послаблюються причини, що викликають зміцнення - спотворення кристалічної решітки, залишкові напруги. Опір металу деформації в процесі прокатки залишається на вихідному рівні, не знижується пластичність. Чим вище температура нагріву металу під прокатку, тим менше деформує зусилля і вище пластичність. Проте надмірно підвищувати температуру нагрівання не рекомендується. Температура нагріву заготовок зі сталі різного хімічного складу різна. Для вуглецевих сталей максимальна температура нагріву повинна бути на 100-150 °С нижче лінії солідусу діаграми Fe - C. Чим вище вміст вуглецю, тим нижче температура нагріву сталі. Температура нагріву сталі з вмістом вуглецю < 0,45% дорівнює 1200 °С; інструментальна сталь з вмістом вуглецю до 1,0% нагрівається під прокатку до 1130 °С. Найбільша температура нагріву під прокатку 1350 °С допускається для низьковуглецевої сталі (<0,1% C). Температура нагріву у виробничих умовах

уточнюється в залежності від типу прокатного стану, потужності головного приводу, відстані від печі до першої кліти. Наприклад, температуру нагрівання заготовки з рядової сталі (0,45% С) перед прокаткою на сортових станах приймають рівною 1200 °С, а перед прокаткою на листових станах - 830- 1250 °С. Залежно від ступеня легування, вмісту вуглецю і перетину заготовки температура нагріву металу перед прокаткою знаходиться в межах 1060-1350 °С. Сталь марок Х12, Х12М, так само як і швидкоріжуча, відноситься до ледебуритного класу. Ледебуритного евтектика цієї сталі плавиться при низьких температурах (близько 1200 °С), а у швидкорізальної сталі при температурі понад 1300 °С. При прокатці ледебуритної евтектики руйнується; при цьому ледебуритні карбіди поведуться як сторонні включення, утворюючи стрічичну структуру. З цієї причини температура нагріву не повинна перевищувати 1140 - 1160 °С; температура кінця прокатки повинна бути не нижче 850 °С [8].

Злитки інструментальної високохромистої сталі піддають куванні, хоча можлива і їх прокатка. Заготівлю для сортового прокату деформують за таким же режимом, як і швидкорізальну сталь.

Інструментальні високохромисті сталі схильні до утворення гартівних тріщин, тому їх слід піддавати повільному охолодженню після прокатки.

Сталь ХВГ застосовують для виготовлення вимірювальних калібрів та інших точних інструментів, так як вона має властивість мало змінювати свої розміри після термічної обробки. З неї виготовляють також довгі інструменти. Ця сталь чутлива до напруг, що виникають при нагріванні, яка тому повинна проводитися досить повільно. В рівній мірі це відноситься і до швидкості охолодження, яка, щоб уникнути утворення тріщин повинна бути уповільненою.

Через великий вміст вуглецю температура нагріву цієї сталі повинна бути досить низькою: сталь схильна до утворення карбідної ліквації і карбідної (цементитної) сітки. Щоб запобігти утворенню цементитної сітки, температуру

кінця прокатки слід підтримувати можливо нижче з обов'язковим швидким охолодженням до 650 °С

Таблиця 1.4 – Температура нагріву марок сталі

| Сталь | Марка | Температура, °С |
|--|---|-----------------|
| Вуглеродна, низьколегована | 40, 15Г -40Г, 30Г2, 15Х - 40Х, 15ХФ, 15ХМ - 35ХМ, 20ХГСА | 1200 - 1220 |
| Углеродистая, низько - и середньо легована | 60, 50Г, 50Х, 50ХГ, 55СГ, 40ХС, ШХ10, 60СА, 30ХНЗ, 35ХГСА | 1180 - 1200 |
| Углеродистая. | У7, 58, У8ГА | 1140-1160 |
| Углеродистая, легована, інструментальна, | У12, У13, Х12, ХБ5, 30ХГСА, 40ХГ, 14ХГС, 70Г, 65СГ | 1100 - 1120 |
| Ніхром, нержавіюча | Х15Н60, 10Х18Н9Т, 20Х18Н9Т | 1200 - 1220 |
| Бистроріжуча | Р9, Р18 | 1180- 1200 |

1.3 Визначення оптимальних умов температурно-швидкісних параметрів

Температурні умови прокатки тісно пов'язані з деформаційними і швидкісними параметрами, що, в свою чергу, визначає вибір технологічних схем виробництва прокату на стані і калібрування валків його робочих клітей. Крім того, характер зміни температури металу по довжині безперервного стану багато в чому визначає рівень енерговитрат на прокатку. На початку деформаційної обробки в чорновій групі робочих клітей стану відбувається

значне зниження температури металу, що прокатується. Це призводить до зростання енергосилових параметрів процесу. Потім, в процесі формування структури готового прокату (чистова група робочих клітей стана), температура металу, що прокатується підвищується за рахунок деформаційного розігріву. Слід зазначити, що при виробництві готової продукції на станах переважають витрати, пов'язані з нагріванням заготовок. У зв'язку з цим зниження енерговитрат на виробництво прокату досягається шляхом зниження температури нагріву вихідних заготовок і зменшення теплових втрат гуркоту в процесі його транспортування в потоці стану. В даний час відомі два напрямки вирішення температурної задачі прокатки. Одне з них базується на теоретичних залежностях процесу теплопередачі, а інше - на статистичному аналізі результатів експериментальних досліджень температури металу, що прокатується. Теоретичний аналіз передбачає складання рівнянь сумарного теплового балансу. Воно включає втрати тепла гуркотом внаслідок його зіткнення з робочими валками, втрати тепла випромінюванням і конвективні втрати, втрати тепла через попадання на гуркіт води, необхідної для охолодження робочих елементів кліти, і приплив тепла внаслідок перетворення роботи деформації металу в теплову енергію, а також від подолання сил контактної тертя. Розрахунок сумарного теплового балансу утруднений, так як відсутні суворі математичні залежності, що описують стадії процесу теплопередачі і їх взаємну обумовленість, а також досить точні дані про теплофізичних контактах, що характеризують досліджуваний процес. Другий напрямок передбачає опис процесів теплопередачі статистичними залежностями. Статистичну модель температурних умов прокатки будують на основі даних експериментального вивчення зміни температури розкату на різних ділянках стану. При цьому загальна структура моделі повинна відображати фізичну природу явища і містити, як аргумент, основні параметри технологічного процесу, легко піддаються контролю і регулювання. Температура деформованого матеріалу залежить від температури нагріву, охолодження на повітрі, контакту з валками або охолоджувальними засобами,

випромінювання і від тепла, що виділяється в процесі деформації. Кількість тепла, переданого під час гарячої обробки тиском, залежить від теплопередачі між інструментом і гуркотом, а також від розділяє їх шару окалини. В особливих випадках вирішальний вплив на теплопередачу можуть також надати шари мастила або охолоджуючої рідини [10].

Температурний режим прокатки.

Відомі два напрямки вирішення температурної задачі при прокатці металу. Одне з них базується на теоретичних залежностях процесу теплопередачі (теповіддачі), а інше - на статистичному аналізі результатів експериментальних досліджень зміни температури прокочуються штаб в технологічній лінії стану гарячої прокатки. Складність використання математичних моделей, складених на базі диференціальних рівнянь теплового балансу прокочується штаби (втрати тепла випромінюванням, конвекцією, теплопередачею валянням і привалковою арматурі, охолодженням водою і підвищення температури за рахунок виділення енергії пластичної деформації), безвідносно до конкретного прокатного стану.

Модель, створена тільки в результаті теоретичного аналізу, хоча і є універсальним засобом прогнозування температури прокочуються штаб, завжди вимагає експериментального підтвердження.

І не випадково, практично всі існуючі моделі температурних умов прокатки металу містять коригувальні коефіцієнти, величина яких не завжди чітко аргументована.

У зв'язку з цим, представляє науково-практичний інтерес опис процесів теплопередачі статистичними залежностями. Статистичну модель температурних умов процесу прокатки будують на основі даних експериментального (як правило, у виробничих умовах) зміни температури штаб на різних технологічних ділянках прокатного стану. При цьому, загальна структура моделі повинна витікати з фізичної природи досліджуваного явища і

містити, як аргумент, основні параметри технологічного процесу, легко контрольовані (вимірювані) і регульовані в необхідних межах.

В даний час немає підстав говорити про абсолютну перевагу того чи іншого способу побудови математичної моделі реального фізичного процесу.

Розрахунок температурних режимів прокатки на експлуатованих станах, а тим більше алгоритми управління і контролю температурного режиму, доцільно виконувати з використанням експериментально - статистичних моделей або математичних залежностей, апроксимуючих теоретичних моделей.

На сучасних високошвидкісних безперервних сортопрокатних станах, на відміну від листопрокатних різної спеціалізації, не завжди вдається забезпечити необхідний рівень температури закінчення прокатки металу (для низьковуглецевої сталі - не нижче 860 С) і тому в їх технологічних лініях встановлені пристрої для прискореного водяного або паровоздушного охолодження металу, що прокочується (а на великосортних станах використовуються регламентовані за часом зупинки гуркотів (як правило, на передавальних шлеперах) або зменшення швидкості проміжних транспортних пристроїв. Високий рівень температури закінчення прокатки металу на безперервних сортопрокатних станах забезпечив реалізацію енергозберігаючої технології за рахунок впровадження термомеханічного зміцнення прокатанного металу в потоці стану (прискорене охолодження гарячого прокату), отримання високих фізико-механічних властивостей прокату, що виключає необхідність проведення його внепоточної термічної обробки [11].

Висновки

Температурно-швидкісний режим прокатки є одним з основних факторів, що визначає продуктивність і якість гарячекатаної продукції. Регулювання температури металу в ключових точках технологічної лінії «нагрів слябів - гаряча прокатка штаб» дозволяє підвищити швидкість прокатки і скоротити ресурсо - і енерговитрати що, в свою чергу, призводить до скорочення витрат виробництва.

Стосовно до листопрокатного комплексу мають місце дві проблеми подальшого підвищення ефективності виробництва:

- недостатнє використання швидкісних можливостей стану при забезпеченні високої якості прокату;

- висока енергоємність листопрокатного комплексу «печі - стан», відсутність теоретичного обґрунтування принципів енергозбереження, а також автоматизованих систем, що дозволяють реалізувати енергозберігаючі принципи і наукомісткі технології.

Технологія, що враховує фізико-механічні особливості середньо вуглецевих і легованих інструментальних сталей, дозволила освоїти на НТЛС - 1680 виробництво гарячекатаних штаб із сталей 45,50,55 і 60Г-70Г розмірами (2,7-6,0) x (1000- 1250) мм з механічними властивостями.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз режиму обтиснення інструментальних сталей

На існуючих станах з традиційною технологією застосовують в чорновій групі п'ять клітей, а в чистовій - сім клітей (стан 2000). На цьому стані із слябів завтовшки 205-305 мм прокатують штаби завтовшки 1,0-2,0 мм і вище (до 30 мм). На ШСГП старої будови (стани 1680 і 1700) із слябів 150-170 мм прокатують штаби завтовшки 1,5-8 мм. При цьому, чим менше товщини штаби, тим менше її ширина. Так, штаби завтовшки $h = 1,5$ мм прокатують з максимальною шириною $B = 1000$ мм.

Раціональний режим деформації на ШСГП незалежно від його конструкції розраховують виходячи з умов:

- захвата металу валяннями для чорнових клітей; -допускаемого зусилля прокатка;
- рівності зусиль прокатки в перших 4х і 5ти клітях чистової групи з метою зменшення поперечної різнотовщинності і неплоскостності штаб;
- допустимої потужності встановлених двигунів.

З урахуванням цих умов, а також заданих розмірах готової штаби і температури початку і кінця прокатки встановлюють розміри слябів, отриманих на слябінгу або на МНЛЗ. З точки зору зниження витрати електроенергії і отримання якісної продукції доцільно починати процес прокатки на ШСГП при температурах $t_n = 1200-1230^\circ\text{C}$, а закінчувати процес прокатки в останній кліті стану при температурах $800-900^\circ\text{C}$ (велика температура при плющенні штаб більшої товщини). Проте при використанні на ШСГП 1680 і 1700 транзитного (прямий) прокатки температура початку і кінця процесу можуть виявлятися нижче вказаних величин.

У загальному вигляді алгоритм розрахунку деформаційно-силових параметрів прокатки штаб представляється таким чином:

- Визначення обтискань, що допускаються, в клітках стану виходячи з умов захоплення металу валяннями і міцності валків (кліті 1 і 2 чорнових групи і кліті 1 і 2 чистових групи).

- Внаслідок того, що температурний режим прокатки на стані можна встановити лише при відомих параметрах прокатки по клітках стану, заздалегідь, на підставі практичних даних, визначимо розміри слябів і величини обтискань по клітках стану.

- Виконується розрахунок температурного режиму прокатки штаби в клітках стану.

- Робиться розрахунок енергосилових параметрів деформації по клітках стану і, при необхідності, його коригування.

Визначення обтискання, що допускається. При плющенні на ШСПП максимальні обтискання слід виконувати в перших двох клітках чорнової групи. У цих клітках визначають максимальні величини обтискань, що допускаються, виходячи з умов захоплення металу валяннями. Відомо [7], що природне захоплення гуркоту валяннями проходить за умови

$$\alpha_3 = f_3 = f \cdot k_3, \quad (2.1)$$

де α_3 – максимальний кут захоплення; f - коефіцієнт тертя в сталому процесі; F_3 - коефіцієнт тертя при захопленні розкату валками; k_3 - поправочний коефіцієнт, що враховує відмінності умов тертя в сталому процесі і при захопленні ($k_3 = F_3 / f$).

За даними різних досліджень поправочний коефіцієнт в природних умовах захоплення гуркоту валками становить $k_3 = 0,8-2,5$. Коефіцієнт k_3 менше при прокатці з технологічної мастилом і більше при її відсутності і під час гарячої прокатки без окалини. За рекомендаціями [7] при вільному захопленні розкату валками слід приймати $k_3 = 1,2 - 1,4$, а при завданні гуркоту в валки з зусиллям $k_3 = 1,4 - 1,6$. Допустиме (максимальне) обтиснення визначається виразом

$$\Delta h_d = R \cdot \alpha_3^2, \quad (2.2)$$

де R – радіус валка, відповідній точці (площині) захоплення гуркоти.
Коефіцієнт тертя в сталому процесі прокатки визначається за даними [7,19]:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_{CM}, \quad (2.3)$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу; k_B , k_T , k_M , k_V , k_{CM} - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив відповідно стан поверхні валків, твердості валків, матеріалу валків, окружної швидкості валків, типу технологічного мастила:

$$\left. \begin{aligned} f_0 &= 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2; \quad k_T = 1 + 0,43 (1 - \text{HSD}/65)^2; \\ k_V &= 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot v)^2 \quad \text{при } v < 10 \text{ м/с;} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

$$k_V = 0,76 \quad \text{при } v > 10 \text{ м/с,}$$

де t – температура металу °С; HSD – твердість по Шору; v – окружна швидкість валків, м/с.

Для сталевих та чавунних валків після початку роботи - $k_B = 1,2$, для сталевих валків з грубою поверхністю - $k_B = 1,25 - 1,4$.

При прокатці: без смазки - $k_{CM} = 1,15$, з водою - $k_{CM} = 1,0$; з емульсією мінерального масла - $k_{CM} = 0,9$.

Для розрахунку максимального обтиску виходячи з міцності валків використовують відомі вирази [7]:

$$P = p_{cp} \cdot l_d B_{cp}; \quad (2.5)$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h}.$$

Вирішуючи спільно вираження (2.4) і звівши в квадрат ліву і праву частини, після перетворення отримаємо

$$\Delta h_d = \frac{1}{R} \left(\frac{P_d}{p_{cp} \cdot B_{cp}} \right)^2, \quad (2.6)$$

де $P_d = P$ – допустиме зусилля виходячи з міцності валків.

У формулі (2.7) міститься два невідомих Δh і p_{cp} , що не дозволяє вирішити вираз (2.7) однозначно. У зв'язку з цим в роботі [6] запропоновано ітераційний метод рішення вираження (2.7), суть якого полягає в тому, що в першу чергу розраховують середнє нормальне контактне напруження p_{cp} і зусилля прокатки P для двох можливих обтиснень (мінімального і максимального) для даної кліті, а потім по наведеній нижче формулі розраховують, що допускається обтиснення

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h')(P_d - P') / (P'' - P'), \quad (2.7)$$

де $\Delta h'$ і $\Delta h''$ – можливі мінімальне і максимальне обтиснення; P' і P'' – зусилля прокатки, відповідні обтиснутими $\Delta h'$ і $\Delta h''$.

Допустимі зусилля по бочці для двовалкова кліті одно:

$$P_d = 0,1 \cdot D^3 \cdot \sigma_{из} / (a - 0,5b), \quad (2.8)$$

де D – діаметр валка після переточування; $\sigma_{из}$ – допустиме напруження на вигин, МПа [5]; a – відстань між осями натискних гвинтів кліті; b – ширина штаби.

Для шийки валка

$$P_d = 0,4d_{ш}^3 \cdot \sigma_{из} / l_{ш}, \quad (2.9)$$

де $d_{ш}$ і $l_{ш}$ – діаметр і довжина шийки валка.

Для врахування впливу напруги крутіння в шийці приводного валка беруть мінімальне значення допускається згинального напруги $\sigma_{из}$.

Допустиме зусилля по бочці опорного валка одно

$$P_d = 0,1 \cdot D^3 \cdot \sigma_{из} / (a - 0,5b_k), \quad (2.10)$$

де b_k – довжина міжвалкового контакту.

Допустимий (номінальний) крутний момент дорівнює ($M_d = M_{ном}$) [15]

$$M_d = \frac{N_{дв} \cdot \eta}{100 \cdot n_{ном}}, \quad (2.11)$$

де $N_{дв}$ – потужність встановленого двигуна; η - ККД передачі ($\eta = 0,92 - 0,95$); $n_{ном}$ - номінальне число оборотів двигуна (з характеристики двигуна).

Модель розрахунку енергосилових параметрів штабової прокатки представлена нижче [7]. При наявності комп'ютерної програми розрахунок допускається обтиску в тій чи іншій кліті не представляє складнощів. При розрахунку по міцності валків допускається обтиску в клітях 1 і 2 чорнової групи і першої кліті чистової групи в ручному варіанті слід визначати зусилля прокатки по величинам допускаються обтиснень з умов захоплення гуркоту валками і розраховувати Δh_d з формули (2.6).

При складанні попередньої таблиці обтиснень в першу чергу необхідно встановити деякі координатні параметри, без яких складно отримати позитивні результати. До таких координатним параметрам слід віднести:

- товщину готової штаби;
- відносне обтиснення в першій і останній клітях чистової групи;
- товщину розкату перед чистової групою;
- сумарне обтиснення в чорновій групі клітей;
- кількість клітей в чорновій і чистовій групах клітей.

Нижче представлений алгоритм розрахунку режиму деформації штаби на ШСП.

1 Визначимо обтиснення і товщину штаби перед чистової кліттю (h_i) в чистовий групі:

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{ч} &= h_{ч} \left(\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon_{ч}} \right) \\ h_{i-1} &= h_{ч} + \Delta h_{ч}, \end{aligned} \right\} ; \quad (2.12)$$

де $\Delta h_{\text{ч}}$ – обтиснення в чистової кліті; $H_{\text{ч}}$ - товщина штаби після чистової кліті; h_{i-1} - товщина штаби перед чистової кліттю; i - номер кліті; $\varepsilon_{\text{ч}}$ - відносне обтиснення в чистової кліті.

2. Обтиснення ($\Delta h_{\text{п}}$) в першій кліті чистової групи (мм)

$$\Delta h_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{п}} \cdot h_{\text{р}}, \quad (2.13)$$

де $\varepsilon_{\text{п}}$ = відносне обтиснення в першій кліті чистової групи; $h_{\text{р}}$ - товщина розкату перед першою кліттю чистової групи (для станів з п'ятиклетовою чорною групою; для станів з чотириклетовою чорною групою - $h_{\text{р}} = 19 - 28$ мм).

3. Приватні обтиску в проміжних клітях чистової групи: семіклетова група ($n_i = 7 - 11$)

$$\Delta h_i = [0,048 + 0,0095 (11 - n_i)^{2,8}] \cdot \Delta h_{\Sigma\text{ч}}; \quad (2.14)$$

шестиклетова група ($n_i = 6 - 9$)

$$\Delta h_i = [0,085 + 0,089 (9 - n_i)^{1,3}] \cdot \Delta h_{\Sigma\text{ч}}. \quad (2.15)$$

Сумарне обтиснення $\Delta h_{\Sigma\text{ч}}$ в проміжних клітях чистової групи

$$\Delta h_{\Sigma\text{ч}} = h_{\text{р}} - h_{\text{ч}} - \Delta h_{\text{ч}} - \Delta h_{\text{п}}. \quad (2.16)$$

Сумарне обтиснення за виразом (2.16) має дорівнювати сумі обтиснень за виразами (2.14) або (2.15). Тобто

$$\Delta h_{\Sigma\text{ч}} = \sum \Delta h_i,$$

де $\sum \Delta h_i$ – сума розрахункових значень індивідуальних обтиснень за виразами (2.14) або (2.15).

Що стосується розбіжності необхідно виконати коригування індивідуальних обтиснень для досягнення значень $\Delta h_{\Sigma\text{ч}}$.

Товщина штаби в попередній проміжній кліті

$$h_{i-1} = h_i + \Delta h_i. \quad (2.17)$$

4. Сумарне обтиснення в клітях чорнової групи зазвичай приймають рівним

$$\sum \varepsilon_{\text{чр}} = (0,85 - 0,88)H; \quad \sum \varepsilon_{\text{чр}} = \sum \Delta h_{\text{чр}} / H \quad (H - \text{товщина сляба});$$

$$\sum \varepsilon_{\text{ЧР}} = 0,86\text{Н при } h_p = 23 \text{ мм};$$

$$\sum \varepsilon_{\text{ЧР}} = 0,88\text{Н при } h_p = 20 \text{ мм};$$

Тоді товщина сляба дорівнює

$$H = h_p / (1 - \sum \varepsilon_{\text{ЧР}}) \quad (2.18)$$

Сумарне обтиснення в чорновій групі однаково: для універсальних клітей (без окалиноломателя)

$$\sum \Delta h_{\text{ЧР}} = H - \Delta h_{\text{ок}} - h_p; \quad (2.19)$$

$$\Delta h_{\text{ок}} = \varepsilon_{\text{ок}} \cdot H; \quad h_{\text{ок}} = H - \Delta h_{\text{ок}}, \quad (2.20)$$

де $\varepsilon_{\text{ок}}=0,1-0,2$.

5. Розподіл обтиску по чотирьом або п'яти універсальним клетям чорнової групи визначають за виразами:

пятиклітві група

$$\Delta h_i = [0,082 + 0,08(5-n_i)^{0,68}] \cdot \sum \Delta h_{\text{ЧР}}; \quad (2.21)$$

чотирьохклітві група

$$\Delta h_i = [0,11 + 0,095(4-n_i)] \cdot \sum \Delta h_{\text{ЧР}}, \quad (2.22)$$

де 5 и 4 – кількість клітей в групі (без окалиноломателя); n_i - номер кліті; $\sum \Delta h_{\text{ЧР}}$ - сумарне обтиснення гуркоти в клітях чорнової групи.

На ШСГП 1680 і 1700 старого типу перед чорновий групою встановлено двохвалкові окалиноломателі з горизонтальними валками, в яких виконують обтиснення в межах $\varepsilon_{\text{ок}} = 10 - 20\%$ (встановлюється дослідним шляхом). Товщина штаби по клетям встановлюється з виразу (2.17)

$$h_{i-1} = h_i + \Delta h_i,$$

де h_i – товщина розкату (штаби) в даній кліті чорнової групи h_{i-1} – товщина розкату в попередньої кліті.

б. Розрахунок енергосилових параметрів прокатки. Всі розрахункові величини енергосилових параметрів повинні бути менше або дорівнюють допускаються. Так, для ШСГП 1680 і 1700 допускаються зусилля для клітей 1 і 2 (чорнова група) $P_d = 24$ МН. Для ШСГП 2000 величину допустимих P_d і M_d дані в роботі [19].

2.2 Алгоритм розрахунку швидкості прокатування

Час проходження штаби (гуркоту) в міжклітьових проміжках розраховуємо без урахування випередження і приймаємо швидкість руху штаби по рольгангам рівної швидкості виходу штаби з валків

$$\tau_{mk} = L_{mk} / v_i, \quad (2.23)$$

де τ_{mk} – час проходження штаби в міжклітьових проміжках;

L_{mk} – довжина міжклітьового проміжку;

v_i – середня швидкість в i – й кліті.

Розрахунок загального часу проходження гуркоту по проміжному рольгангу до кліті № 5 розраховуємо по формулі (для переднього кінця штаби) :

$$\tau_{pr.p} \approx L_p / v_4, \quad (2.24)$$

де L_p – довжина проміжного рольганга (відстань між осями клітей №4 і №5);

v_4 – швидкість виходу штаби з кліті № 4 (з останньої кліті чорнової групи).

Швидкість заднього кінця штабі при плющенні в кліті № 5

$$v'_5 = v_5 (1 + S_5) / \mu_5, \quad (2.25)$$

де v_5 – окружна швидкість валків кліті № 5;

S_5 – випередження штаби;

μ_5 – коефіцієнт витягу.

Розрахунок $\tau_{\text{МК}}$ за виразом (4.23) для клітей Ок - № 4 дорівнює 6,2- 20,3 с.
(Ок - окалиноломатель).

Час руху гуркоту по проміжному рольгангу від кліті № 4 до кліті № 5
рівно

$$\tau_4 = 59,4 / 2,21 = 26,9 \text{ с.}$$

При плющенні в кліті № 5 швидкість входу штаби у валяння з формули
(4.25) дорівнює ($S = 0$)

$$v'_5 \approx 1,9 / 1,585 = 1,20 \text{ м/с.}$$

2.3 Алгоритм розрахунку температури

Температурний режим прокатки штаб на безперервному стані обумовлює енергосилові параметри деформації металу, витрату електроенергії на одну тунну готової продукції, точність, площинну (планшетність) і механічні властивості штаб. У загальному випадку температура гуркоту визначається кількістю тепла, отриманою при нагріві, часом охолодження, умовами (кількістю і тиском води, що подається на валяння, її температурою та ін.), кількістю тепла, що виділяється в гуркоті під час його деформації і ін. Тепло втрачається конвекцією при зіткненні з деталями кліті (з валяннями), випромінюванням, а так само віддається воді.

Розрахунок виконуємо за методикою, відповідно до якої температуру

штаба після кліті визначають таким чином.

Охолодження штаби за рахунок контакту з валяннями визначається з вираження

$$\Delta t_{\text{в}} = \frac{1,83 \cdot 10^{-2} (t_{i-1} - 60) \sqrt{(1 + S_i) / v_i}}{H_i + h_i} \sqrt{R_i \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_i}{2R_i} \right)}, \quad (2.26)$$

де R_i - радіус валків, мм;

Δh_i - абсолютне обтискання, мм;

S_i - випередження;

v_i - швидкість штаби, м/с.

Підвищення температури металу за рахунок пластичної деформації у валяннях рівне

$$\Delta t_{\text{д}} = 0,428 p_{\text{ср}} \cdot \lg (H_i / h_i), \quad (2.27)$$

де $p_{\text{ср}}$ - середня нормальна напруга прокатка, МПа;

H_i и h_i - початкова і кінцева товщина штаби, мм.

Температура штаби на виході безпосередньо з кліті визначається за виразом:

$$t_i = t_{i-1} - \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{д}}, \quad (2.28)$$

де t_{i-1} - температура штаби перед першою кліттю.

При проходженні гуркоту по рольгангу до наступної кліті відбувається втрата тепла за рахунок випромінювання ($\Delta t_{\text{у}}$). Ці втрати для товстих штаб визначимо по формулі М.А. Зайкова.

$$\Delta t_{\text{у}} = 27,2 \frac{\varepsilon \tau \cdot m}{c \gamma h} \left(\frac{t'_i + 273}{1000} \right)^4 = \frac{16,8 \cdot \tau \cdot m}{h} \left(\frac{t'_i + 273}{1000} \right)^4 \quad (2.29)$$

де τ - час охолодження штаби, з;

h - товщина штаби на рольганге, мм;

ε - коефіцієнт випромінювання ($\varepsilon = 0,8$);

C - середня питома теплоємність штаб, ккал/кг · °С (для температур 1000 - 1200 °С коефіцієнт $C = 0,166$ ккал/кг · °С);

γ - щільність прокатуваного металу, 1/м³;

t'_1 - температура після попередньої кліти. °С;

m - коефіцієнт з роботи, що враховує втрати температури при вільному теплообміні.

У зв'язку з тим, що в окалиноламачі режим деформації по всім варіантам практично однаковий, приймаємо температуру переднього кінця штаби перед кліттю № 1 рівною - $t'_1 = 1180$ °С.

2.4 Способи зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу стану гарячої прокатки, їх теплова і енергетична ефективність

Широкоштабові стани гарячої прокатки (ШПСГП) продовжують зберігати лідерство у виробництві гарячекатаних широких штаб, залишатися основними постачальниками заготовки для листових станів холодної прокатки. ШПСГП містять пічну групу, чорнову і чистову групи клітей і прибиральну групу устаткування, що включає рольганг, що відводить, і моталки. Між чорною і чистовою групами клітей розташований проміжний рольганг, по якому підкат (розкат) передають з чорнової в чистову групу. У провідних японських металургів відмічена єдина думка фахівців про необхідність обов'язкової наявності проміжного рольганга в технологічній лінії ШПСГП. Необхідність в опиті з'явилася, у тому числі у зв'язку з тим, що наявність процесу передачі підкату по проміжному рольгангу наводить до істотного, до того ж нерівномірного по довжині охолодження підкату (до 100 град. і більш) до моменту входу ділянок підкату в першу кліть чистової групи.

У свою чергу відмічений перепад температури істотно ускладнює процес прокатки в чистовій групі клітей, наводить до перевантажно перших трьох-чотирьох клітей, до того ж, на виході з чистової групи потрібний постійний розподіл температури по довжині готової штаби, що обумовлене необхідністю набуття постійних фізико-механичних властивостей по довжині штаби.

Для напівбезперервних ШПСГП фірма Steel Corporation СапаПа знайшла оригінальне рішення вказаної технічної задачі у вигляді операції змотування підкату в рулон з подальшим його розмотуванням і подачею підкату з практично постійною температурою по довжині для прокати в чистових клітках. Операцію змотування/розмотування підкату здійснюють в установці Coilbox. Вживання дозволило до того ж істотно розширити можливості тих, що діють напівбезперервних ШПСГП по прокатуванню ваговитих слябів (при цьому вживання Coilbox найефективніше для слябів із співвідношенням $C/B > 19$ т/(м. ширини), де C - маса сляба, B - ширина сляба). Проте операція змотування/розмотування підкату, здійснювана в установці, не може забезпечити високу продуктивність, властиву безперервним ШПСГП.

Для безперервних (3/4 безперервні, 2/3 безперервні) ШПСГП, що мають продуктивність понад 4,0 млн. т/р., зниження охолодження підкату в процесі передачі його з чорнової в чистову групу клітей і зниження при цьому нерівномірного по довжині підкату розподілу температури у момент входу в першу кліть чистової групи запропоновано здійснювати шляхом екранування верхньої і нижньої поверхонь підкату на проміжному рольганге аж до підігрівання підкату в прохідній тунельній печі з верхнім взводом, що відкидається.

Об'єднаємо всі відомі способи зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу назвою теплозберігаючі установки (ТЗУ) і розділимо їх на три види теплоекранування: пасивне, активне і псевдоактивне.

Основу пасивного теплоекранування складає зниження охолодження верхньої поверхні підкату шляхом зменшення його теплообміну з довкіллям. Це запропоновано здійснювати або зниженням міри чорноти системи екрани -

підкат (ТЗУ з касетами тепловідражаючих екранів, ТОЕ), або підвищенням температури екранів за рахунок акумуляції тепла касетами при проходженні перших підкатів (ТСУ з касетами теплоакумулюючих екранів, ТАЕ). У ТСУ з касетами ТАЕ із зменшенням товщини екранів помітно підвищується ефективність екранування підкатів при початковій стадії прокатка (з вихідного <холодного> стану екранів), проте зниження товщини екранів істотно зменшує тривалість їх роботи.

Основу ТСУ активного теплоекранирования (АТЕ) складає проходження підкату в процесі його руху від чорнової до чистової групи клітей через тунельну піч, в якій до верхньої поверхні підкату підводиться тепло.

Основу ТЗУ з касетами псевдоактивних екранів (ПАТАЕ) складає проходження підкату під теплоакумулюючими екранами (ТАЕ), робочу поверхню яких (звернену до підкату) активно нагрівають до температури, яка дорівнює температурі верхньої поверхні підкату.

Способи зниження охолодження підкату з його верхньої поверхні.

Всі відомі ТЗУ для зниження втрат тепла верхньою поверхнею підкату забезпечені набором секцій, встановлених уздовж рольганга приводом переміщення секцій (від гідроциліндрів) к/від рольганга.

Довжину секцій частіше приймають кратною кроку роликів рольганга, при цьому із збільшенням довжини секцій зменшується величина їх «підскакування» при ударах по ним переднього кінця рухомого по рольгангу підкату, яке небезпечне для торця секції, наступної по ходу вказаного руху підкату. Проте із збільшенням довжини секції з'являються складнощі з оперативним їх відведенням від рольганга. Крім того, із зростанням довжини секцій з'являється необхідність призначення в конструкції підвищених зазорів для компенсації теплових подовжень. Для кроку роликів рольганга 1200 мм (ШПСГП у Росії і в Україні) переважна довжина секцій 2400 і 3600 мм.

Небажана, але допускається експлуатація ТЗУ, забезпеченої секціями різної довжини [13].

Ширина секцій визначена довжиною бочки роликів рольганга, яку вона перевищує на 100 ... 200 мм.

На секції з можливістю оперативної заміни кріплять касети з екранами, що забезпечують реалізацію відмічених способів теплоекранування верхньої поверхні підкату. Висоту розташування робочої поверхні екранів (звернену до підкату) відносно підкату по рекомендації фірми ЕПСОТЕСЬ в основному приймають рівною 250 мм.

Касети можуть бути з ТОЕ, ТАЕ і ПАТАЕ. У ТСУ з АТЕ касета є секцією.

ТЗУ з касетами ТОЕ. Безінерційність ТЗУ з касетами ТОЕ і низька їх вартість є важливою перевагою цього способу екранування підкату.

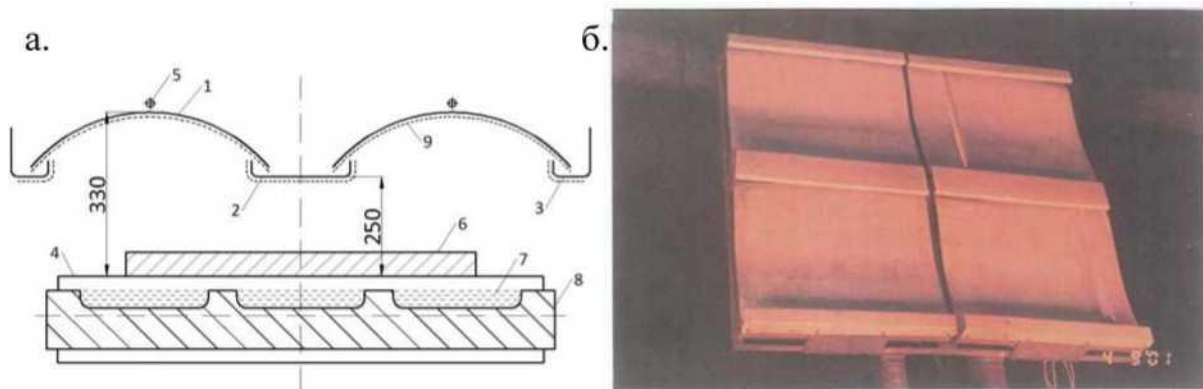


Рисунок 2.1 – Поперечний розріз (а; схема) і фотографія (б) секції ТЗУ з тепловідображаючий екранами на проміжному рольгангу ШПСГП 2000.

У 2000 р. була створена секція ТЗУ з 4-мя касетами ТОЕ, поперечний розріз і фотографія якої приведений на рис. 2.1 (пат. РФ 2 122 475. МКИ В21В 35/00). Теплоотражателі 1 були виготовлені з 2 мм листа маловуглецевої сталі, покритого А1 (рис. 2.1). По центру секції йшов підпружинений відбійник покритий А1. Бічні стінки 3 секції також були захищені А1. Товщина покриття А1 складала порядка 0,25 мм, первинна міра його чорноти знаходилася на рівні 0,2. Відстань між рівнем роликів 4 і відбійником 2 складала 250 мм. Передбачена можливість охолодження тепловідображень 1 сухим повітрям 5.

Цим повітрям виключалося також осадження пилу на верхню і нижню поверхні відбивачів 1.

Приведена на фотографії (рис. 2.1, б) секція була встановлена на початку ТЗУ з касетами ТАЕ (ролики 19 - 21 після кліті № 5) на ШПСГП 2000 ВАТ «НЛМК», на несучих конструкціях цього ТЗУ.

Протягом 4-х місяців здійснювали вимір параметрів роботи секції. Встановлено, що при безперервному циклі роботи стану має місце розігрівання відбивачів 1 до 400 °С; подача повітря 5 знижує цей рівень до 180 °С. При цьому відбійник 2 нагрівався до 350 °С без подачі повітря і до 300 °С при подачі повітря. Бічні стінки 3 при подачі повітря і без нього нагрівалися до 250 °С.

По ефективності збереження тепла підкатом ТЗУ з касетами ТОЕ практично не поступаються ТЗУ з касетами ТАЕ (див. нижчий), в той же час вимагають істотно менших капітальних витрат. Проте в експлуатації ТЗУ з касетами ТОЕ вимагають додаткових експлуатаційних витрат на заміну тепловідображаючих приблизно через 6 місяців їх роботи і відновлення міри чорноти поверхонь відпрацьованих екранів, яке здійснюють дробеструйною обробкою.

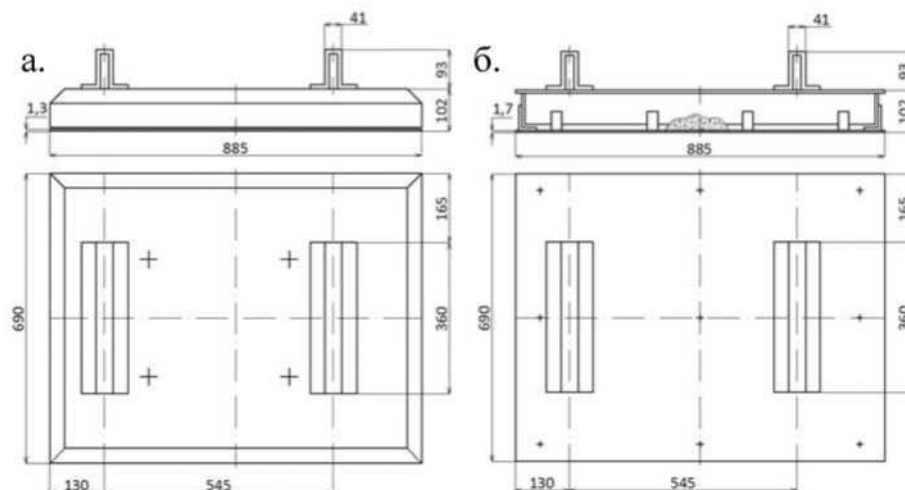


Рисунок 2.2 – Касета - енкопанель (а), встановлена на секціях ТЗУ ШПСГП 2000 ВАТ «ММК», касета-енкопанель (б) конструкції ВАТ «ММК».

У вітчизняних конструкціях касет (рис. 2.3, а), по-перше, практично відсутня теплопередача тепла в касетах впоперек напрямку руху підкату, по-друге, застосовані екрани завтовшки 1,0 мм, по-третє, істотно знижена передача тепла від екранів до інших елементів касети, по-четверте, використаний серійно виготовлений жаростійкий сплав, швидкість окислення якого 0,08 мм в рік при температурі 1200 °С. Перші три положення істотно підвищили інтенсивність розігрівання екранів, останнє дозволило експлуатувати касети протягом 3.. .4 років без заміни. До того ж звернена до підкату поверхня касет володіє високою жорсткістю, що дозволяє касетам добре протистояти ударам підкату.

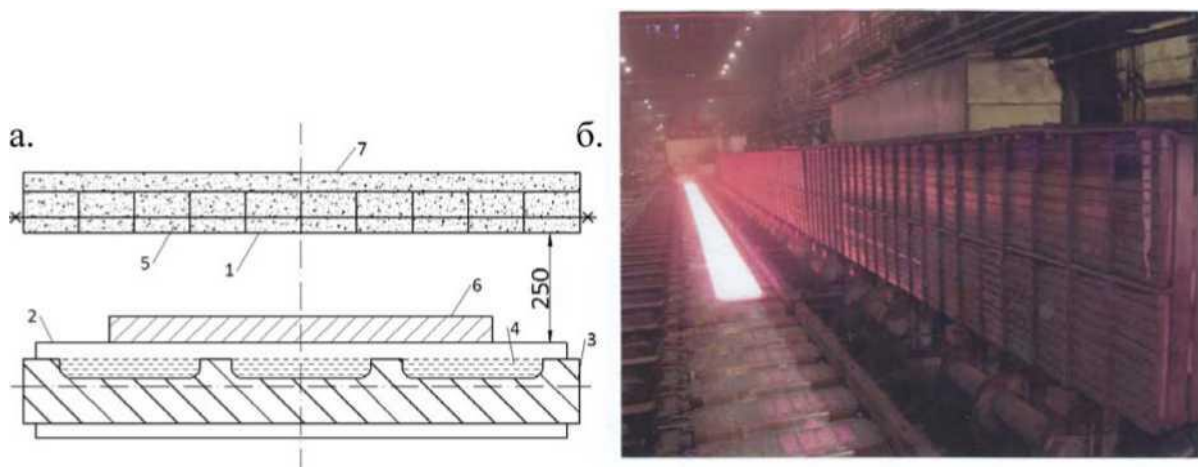


Рисунок 2.3. – Поперечний розріз (а; схема) і фотографія зовнішнього вигляду (б) ТЗУ на проміжному рольганге ШПСГП 2000. 1 - спеціальна труба з жаростійкого сплаву; 2 - верхній рівень ролика рольганга; 3 - міжроликова плита; 4 - повітряна окалина; 5 мулітокремнеземистая вата (теплоізолятор); 6 - підкат; 7 - повсть мулітокремнеземистої вата.

ТЗУ з активним теплоекрануванням підкату (АТЕ). Технічне рішення розроблене фірмою «ТесІп!» (Італія) [8, 9] і включає активну дію на температуру рухомого підкату шляхом підведення тепла до верхньої його поверхні від газових пальників. Газові пальники розташовують в однотипних секціях, забезпечених приводом їх переміщення к/від рольганга. По суті в процесі руху підкату по проміжному рольгангу його пропускають через тунельну піч з верхніми пальниками. ТЗУ з АТЕ встановлені на заводах в Італії,

Єгипті, Бельгії. У Росії ТСУ з АТЕ встановлена на литейно-прокатному агрегаті (ЛПА) 2000 в р. Вика. Згідно проекту ЛПА 2000 р. Вика ТЗУ має протяжність 100 м, витрачає в середньому 45000 ккал/(т підкату), розрахована на використання природного газу з теплотворною здатністю 8000 ккал/нм \pm 10 %. Підкат завтовшки 20...45 мм рухається по рольгангу, що підігрівається, із швидкістю 0,33 - 4 м/с (передній кінець) і 0,39 - 2 м/с (задній кінець).

Екрануючу поверхню нагрівають пропусканням електричного струму по тонкому листу - екрану з відміченого для ТАЕ жаростійкого сплаву (рис. 5). Псевдоактивними екрани названі у зв'язку з тим, що в ТСУ з касетами ПАТАЕ підкат не підігрівають активною дією на його температуру.

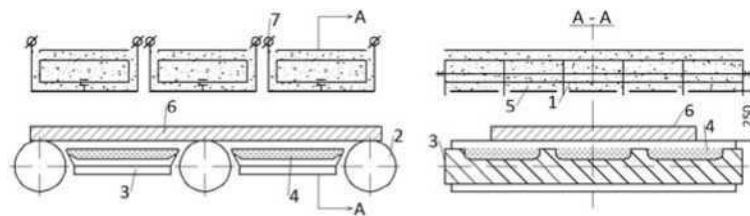


Рисунок 2.4. – Схема подовжнього і поперечного розрізів ТЗУ з касетами псевдоактивних екранів (ПАТАЕ). 1 - спеціальні труби з жаростійкого сплаву; 2 - ролики рольганга; 3 - міжроликові плити; 4 - повітряна окалина; 5 - електро (тепло) ізолятор; 6 - підкат; 7 - підведення електричного струму.

На лабораторній установці підтвержені високі теплосберігаючі властивості вживання касет ПАТАЕ. Розроблений, виготовлений і поставлений для стану гарячої прокатки 560 заводу «Серп і Молот» дослідно-промисловий модуль. На жаль, нестійке юридичне положення заводу в м. Москві зупинило роботи по промислового використання ТЗУ з касетами ПАТАЕ.

Способи зниження охолодження підкату з його нижньої поверхні.

У описаних теплосберігаючих установках з касетами ТОЕ, ТАЕ і ПАТАЕ зниження втрат тепла підкатом з його нижньої поверхні виконано за допомогою повітряної окалини в ємкостях міжроликових плит рольганга (див. рис. 1, 3 і 6). При цьому використовували відоме положення, що «багатоекранна система може бути використана як надійний тепловий захист»

[10]. Повітряна окалина в ємкостях мікроликових плит повністю відповідає цьому положенню, тим більше частки окалини можуть бути лише плоским тілом з вельми низькою масою.



Рисунок 2.5 - Фотографія заднього кінця підкату, що покинув з швидкістю < 1 м/с останню секцію ТЗУ з касетами ТАЕ; відстань між осями роликів 1200 мм.

У роботі [7] приведені узагальнення по вживанню повітряної окалини як спосіб зниження охолодження підкату з його нижньої поверхні. На рис. 2.6 показано охолодження поверхні окалини після проходження підкату:

- поза екрануванням зверху; 2 - під екранами.

Відмічені результати з'явилися основою для широкого вживання повітряної окалини як практично безінерційного способу зменшення охолодження нижньої поверхні підкату в ТЗУ з касетами ТОЕ, ТАЕ і ПАТАЕ. При цьому на прикладі ТЗУ з касетами ТАЕ встановлено, що з 100 % завдяки ТЗУ ефекту зниження охолодження підкату з верхньою і нижньою його поверхнями, вказане екранування повітряною окалиною забезпечує 50...60 % [14].

Електронний журнал №8 серпень 2011 р.

При нормальному ритмі прокатки ($T_{\text{пауз}} \sim 15...20$ з) розігріта окалина суттєво акумулює тепло, що підсилює ефект екранування. На ШПСГП 2000 ВАТ «НЛМК» розглянуте екранування воздушної окалини застосовують також за межами ТЗУ, що особливо ефективно настороні рольганга, ближньою після

ТЗУ до летких ножиць (див. фотографії на рис. 3 і 6). Параметри міжроликової плити з ємкостями для повітряної окалини приведено на рис. 8, а.

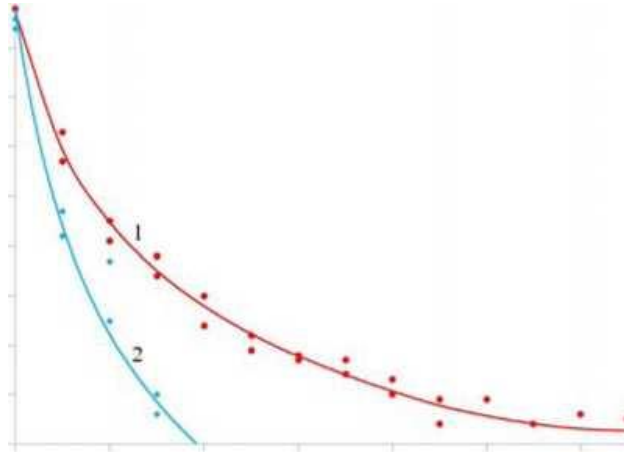


Рисунок 2.6 - Зміна температури поверхневого шару окалини в ємкостях міжроликових плит. 1 - поза екрануванням зверху; 2 - під екранами ТАЕ.

Очевидна низька вартість капітальних і особливо експлуатаційних витрат на реалізацію вживання повітряної окалини, як засіб теплового екранування нижньої поверхні підкату.

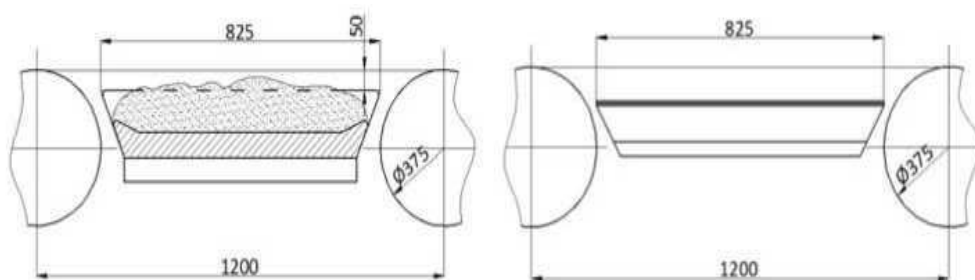


Рисунок 2.7 – Розташування міжроликової плити (а) з ємкостями для повітряної окалини і енопанелі (б) на проміжному рольгангах ШПСГП з міжроликовою відстанню 1200 мм.

У ТЗУ з касетами ТАЕ (енопанелями) фірми ЕПСОТЕСЬ (Бауу МсЪкєє) екранування підкату з нижньої його поверхні по суті виконане по аналогії з

екрануванням верхньої поверхні (тобто за допомогою екопанелей; рис. 2.7,б). Природно, таке екранування, по-перше, вимагає великих капітальних вкладень, по-друге, збільшує експлуатаційні витрати.

У ТЗУ АТЕ фірми ТесІп! екранування нижньої поверхні підкату виконане за допомогою керамічних плит, розташування яких між роликками забезпечує схід повітряної окалини під рольганг.

Теплова і енергетична ефективність розглянутих ТЗУ.

Оцінку відомих способів зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу виконали розрахунковим методом. При цьому рішення лінійної задачі теплопроводності проводилося методом кінцевих різниць (метод сіток), з реалізацією схеми Кранко-Николсона [11]. Побудову різницевої схеми здійснювали методом балансу в граничних умовах II роду. Отримана система різницевих рівнянь вирішувалася методом прогону. Зведення тривимірного завдання теплопроводності до сукупності одновимірних виконувалося методом розщеплювання. Результати розрахунків зіставили з експериментальними даними, отриманими в лабораторних дослідженнях ТЗУ з касетами ПАТАЕ. Отриманий хороший збіг розрахованих і експериментальних значень температур екранів і окалини і їх змін у часі.

Для максимального виключення впливу побічних ефектів на результати аналізу енергетичної і теплової ефективності розглянутих способів екранування, за основу прийняли один і той же безперервний ШПС г.п. [ШПС г.п. 2000 ВАТ «НЛМК», Росія, розрахований на виробництво 6,1 млн. т/год гарячекатаних штаб завтовшки 1,2.16 мм, шириною до 1800 мм при питомій масі рулонів до 20 т/(м ширини)]. На проміжному рольганге стану встановлена ТЗУ з касетами ТАЕ (див. рис. 2.8), при цьому відстань між верхньою поверхнею екранів і верхнім рівнем рольганга рівні 250 мм, між нижньою поверхнею підкату і екранами 50 мм. Приймали, що саме також розташовані ТЗУ, що зіставляються. При цьому розглядали прокатка підкату однієї і тієї ж товщини, ширина, маси і марки стали, що покидає останню чорнову кліть Я5

при однакових середній температурі і розподілі температури по товщині підкату (рис. 2,8) і що транспортується з однаковими швидкостями по проміжному рольгангу аж до першої кліті чистової групи Р\ . Для виключення впливу прискорення на температуру вступу підкату в кліть Р1 при різних способах екранування підкату приймали прокатка в чистовій групі клітей на постійній швидкості.

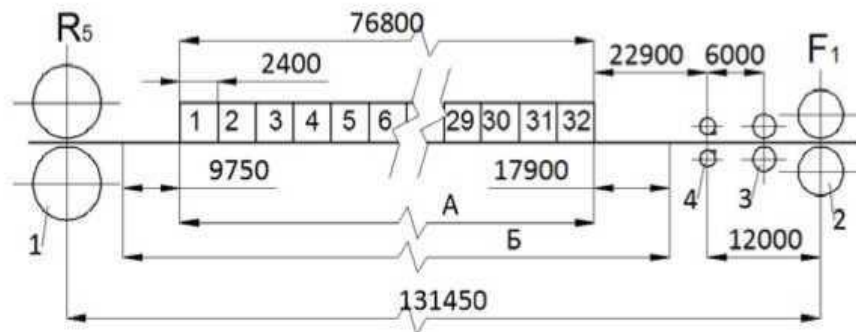


Рисунок 2.8 – Розташування ТСУ на проміжному рольганге ШПСГП 2000 ВАТ «НЛМК». 1 - остання кліть чорнової групи К5; 2 - перша кліть чистової групи Р\, 3 - окалиноламач; 4 - леткі ножиці; 1 ... 32 - секції ТЗУ; 9750 мм і 17900 екранування знизу повітряною окалиною до і після ТЗУ;

А - екранування підкату знизу за допомогою энкопанелей (рис. 2.9);

Б - найбільша протяжність екранування підкату знизу повітряною окалиною.

Зіставлення теплової і енергетичної ефективності розглянутих ТЗУ виконали на прикладі прокатки сляба товщиною 250 мм, шириною 1250 мм і завдовжки 10400 мм із здобуттям після чорнової групи (кліті №5) підкату 32 мм для здобуття штаб товщиною 1,5 мм і підкату 34 мм - для штаби завтовшки 3,0 мм. При цьому за основу прийняли роботу ШПСГП 2000 ВАТ «НЛМК» в 2007 р., коли сляби шириною 1200 -1350 мм складали 46,6 %, штаби завтовшки менше 3,0 мм - 63,5 % і підкати завдовжки понад 55 м - 31,9 %. Приймали швидкість прокатки в останній чорновій кліті К5 рівною 3,2 м/с, швидкість транспортування прокату по промрольгангу 5,0 м/с з подальшим гальмуванням перед леткими ножицями і початком прокатки в першій кліті Р1 чистової групи

підкату завтовшки 32 мм із швидкістю 0,59 м/с і підкату 34 мм із швидкістю 0,88 м/с.

Оскільки для ТЗУ з касетами ТОЕ і ТАЕ отримували практично однакові дані, нижче представлені відомості про роботу ТЗУ з касетами ТАЕ.

Теплова ефективність роботи ТЗУ. При аналізі теплової ефективності ТЗУ, що зіставляються, разом з аналізом зміни температури по товщині підкату на всій його довжині в процесі проходження промрольганга, основну увагу приділили впливу ТЗУ на температурний режим початку прокатки в першій кліті чистової групи Г1, як кінцевого результату впливу ТЗУ на умови прокатки в чистовій групі клітей [16].

Рівень температури підкатів у момент виходу з останньої кліті К5 чорнової групи при аналізі даних ТЗУ був однаковим; розподіл температури по ширині і товщині заднього кінця підкатів приведений на рис. 2.9.

В процесі оцінки теплової ефективності тунельної печі ТесИп! (ТЗУ АТЕ) розглядали різні значення теплового потоку, що підводиться до верхньої поверхні підкату. Отримано, що при тепловому потоці порядку 260-90 кВт/м (еквівалентно коефіцієнту тепловіддачі 250...300 Вт/(м·К) і температурі в печі 1350 °С) підкат практично при постійній температурі по його довжині (виключення складає передній кінець підкату завдовжки 18,9 м) поступає в першу кліть Р1 чистової групи (за прийнятої умови, що $\%1 = \text{CoП81}$).

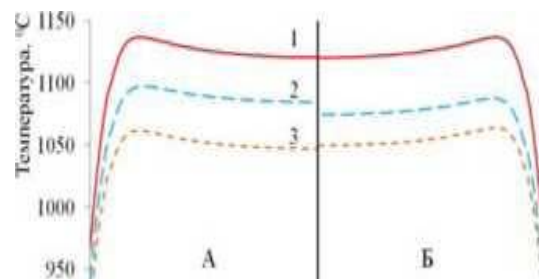


Рисунок 2.9 – Розподіл температури по ширині і товщині (товщина 32 ... 34 мм) підкату після виходу з чорнової групи (з кліті №5). 1 - центральні шари підкату; 2 - нижня поверхня підкату; 3 - верхня поверхня підкату;

Роботу ТЗУ з касетами ПАТАЕ розглядали в режимі хвиля, що «біжить» (патент РФ № 2268791 В21В; пріоритет від 28.06.2004 р.): подача напруги до касет секцій ТЗУ здійснюється у момент підходу підкату під секцію і відключення напруги - у момент виходу заднього кінця підкату з під секції. Відмічений режим роботи є найбільш переважним в частині витрат енергії. Отримано, що при вибраних параметрах екранів (560 x 180 x 1,0 мм) ПАТАЕ із сплаву залізоникеля з 44 - 46 % Ш потужність, що підводиться, до секції ПАТАЕ (2000 x 2400 мм) складає порядка 400 кВт і знижується до 176 кВт для підтримки температури поверхні екранів, рівній температурі підкату.

Результати розрахунків впливу способів екранування (типів ТЗУ) на температурні умови прокатки в чистовій групі клітей приведені в таблиці 1. Відзначимо також, що ТЗУ з пасивними способами дії на температуру підкату (енкопанелі, ТЗУ з касетами ТАЕ - 1, ТАЕ - 2 і ТОЕ) досить ефективні для ШПСГП з сім'ю чистовими клітями, оскільки, по - перше, істотно знижують температуру трьох чистових клітях (№1, №3) при прокатуванні рулонів підвищеної маси (особливо штаб завтовшки до 3,0 мм), по-друге, за рахунок прокатки масивніших рулонів знижують вживане в цій групі клітей прискорення без втрати продуктивності стану, по - третє, знижують рівень нагріву металу в печах.

Слід зазначити, що теплова ефективність пасивних способів дії на температуру підкатів на проміжному рольгангу ШПСГП досить детальний досліджена в багатьох роботах, зокрема в [1 - 7]. Тут лише визначимо вельми позитивну роль екранування нижньої поверхні підкату повітряною окалиною за межами ТЗУ (рис. 9). Відмічене на фіг. 9 додаткове екранування повітряною окалиною підвищує температуру підкату, наприклад, завтовшки 34 мм на вході в Р1 на 10 град. При цьому основний вклад в цю зміну значення температури вносить вказане екранування повітряною окалиною на ділянці ТЗУ - леткі ножиці. Відмітимо, що досвід експлуатації ТЗУ ТАЕ - 1 на ШПСГП показує, що вживання екранування нижньої поверхні підкату повітряною окалиною на

ділянці ТЗУ - леткі ножиці не впливає на процес проходження підкатом вогнища деформації кліті Р1.

Згідно даним таблиці 2.1 ТЗУ у вигляді прохідної тунельної печі (АТЕ) для підкату завтовшки 32 мм забезпечує на 30 До вище температуру вступу підкату в першу кліть Р1 чистової групи порівняно з ТЗУ ПАТАЕ - 1. Проте із збільшенням товщини підкату до 34 мм (і відміченою зміною швидкісних умов прокатки) ця різниця знижується до 23 К. При цьому обоє типа ТЗУ забезпечують практично однаковий температурний клин на довжині підкату у момент входу в чистову кліть Р1.

Враховуючи «згладжуючий» коефіцієнт чистової групи клітей, рівний для групи семикліті 5,25 для готової штаби завтовшки до = 1,2 мм, 4,5 для до = 1,5 мм і 2,75 для до = 3,0 мм [12], відміченою різницею в температурах вступу підкату в кліть Р1 можна було б також нехтувати, тим більше в групі семикліті прокатка здійснюють з прискоренням. Проте в будь-якому разі ця різниця в температурах виявиться в перевантаженнях перших клітей чистової групи, в подовжній разнотолщинності готових штаб [25].

При однаковому розподілі вихідної температури по товщині підкату на виході з кліті К5 наголошується істотна відмінність в розподілі температури по довжині і особливо товщині підкату у міру проходження ним тунельній печі фірми ТесІп! (ТЗУ АТЕ) і ТЗУ з касетами ПАТАЕ - 1 на проміжному рольганге ШПСГП і вступу підкату в першу кліть Р1 чистової групи.

Для проходження підкатом ділянки проміжного рольганга, обладнаного ТЗУ з касетами ПАТАЕ - 1 характерна істотна стабілізація розподілу температури по товщині підкату, порушення якої починається після виходу підкату з під ТЗУ і особливо після закінчення екранування підкату з нижньої поверхні повітряною окалиною (ділянка 8 на рис. 2.10).

Проходження підкатом тунельної печі (7 на рис. 2.11) наводить до формування істотного перепаду температури по товщині підкату (до 62 град на виході з печі), при цьому відмічене відбувається із-за інтенсивного підведення тепла до верхньої поверхні підкату, що піднімає температуру цієї поверхні

підкату (середню в 1 мм - крок прийнятої сітки розрахунку до 1130 °С). Є підстава передбачати, по-перше, що верхня поверхня підкату розігрівається ще вищим, по-друге, що вказаний рівень розігрівання підкату для ряду прокатуваних на ШПС г.п. сталей (наприклад, трубних) не бажаний.

Таблиця 2.1 – Зміна температури входу заднього кінця підкату в першу кліть Р1 чистової групи ШСГП залежно від типу ТЗУ, встановленою на проміжному рольгангу

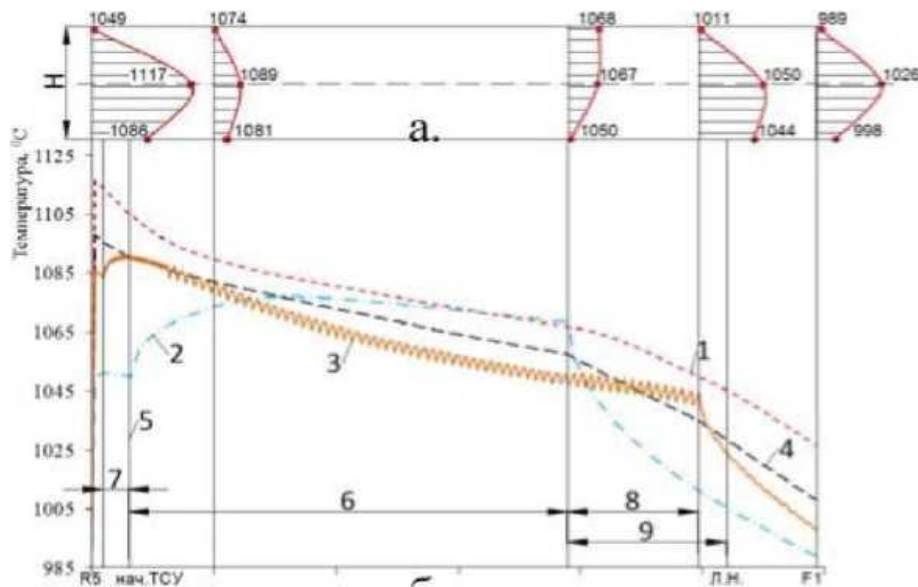
| Тип ТЗУ | Товщина підкату, мм | | | | Спосіб дії на температуру підкату |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| | 32 | | 34 | | |
| | Підвищення температури на вході | Температурний клин на вході в Р1, До | Підвищення температури на вході в Р1, До | Температурний клин на вході в Р1, До | |
| Без ТЗУ | - | 129 | - | 76 | - |
| Екопанелі | 52 | 85 | 31 | 52 | Пасивний |
| ТАЕ - 2 (ТОЕ - 2) | 66 | 70 | 45 | 38 | |
| ТАЕ - 1 (ТОЕ - 1) | 80 | 57 | 55 | 29 | |
| ПАТАЕ - 2 | 89 | 50 | 62 | 25 | Псевдоактивний |
| ПАТАЕ - 1 | 104 | 36 | 72 | 15 | |
| АТЕ | 134 | 34 | 95 | 19 | Активний |

Слід зазначити, що ТЗУ з касетами ПАТАЕ - 1 і прохідна тунельна піч (ТСУ АТЕ) помітно (на 12 - 16 %) знижують температурний перепад по ширині підкату, причому ТЗУ АТЕ більшою мірою.

Після виходу підкату з під ТЗУ АТЕ верхня поверхня підкату пропорційно четвертій мірі температури виходу підкату з печі знижується (рис. 12) і на вході в першу чистову кліть Р1 розподіл температури по товщині підкату істотно стабілізується, при цьому температура на його поверхнях складає 1012...1015 °С і в центрі 1045 °С (тобто з перепадом по товщині підкату на рівні 30 град.) [31].

Відмітимо, що для підкату, минулого ТЗУ з касетами ПАТАЕ - 1, картина розподілу температури по товщині підкату на вході в кліть Р1 практично аналогічна (рис. 2.11), з перепадом по товщині підкату на рівні 30 град., проте

при цьому середня температура підкату завтовшки 34 мм на 23 град. нижче порівняно з впливом на температуру підкату процесу проходження тунельної печі.



О 20 40 0.60 80 100 120

Час, с

Рисунок 2.10 – Зміна температури по товщині (а) і довжині (б) заднього кінця підкату завтовшки 34 мм після виходу його заднього кінця з кліті К5 з приведеним на рис. 12 розподілом температури по його ширині і товщині і проходження по проміжному рольгангу, обладнаному секціями з касетами ПАТАЕ, - 1, і вступу в першу чистову кліть Р1. 1 - центральні шари підкату; 2 - верхня поверхня підкату; 3 - нижня поверхня підкату; 4 - середнемассовая по товщині температура підкату. Позначено (див. також мал. 11): 5 - почало ТСУ (після кліті К5); 6 - протяжність ТСУ з касетами ПАТАЕ; 7 - ділянка екранування нижньої поверхні підкату повітряною окалиною до входу в ТСУ; 8 - ділянка екранування нижньої поверхні підкату повітряною окалиною після виходу з ТСУ; 9 - відстань між ТСУ і віссю летких ножиць; Н - товщина підкату (34 мм).

Енергетична ефективність роботи ТЗУ. Енергоспоживання ТЗУ є важливим показником її ефективності при реалізації температурного режиму прокатки в чистовій групі клітей.

З цієї точки зору ТЗУ з пасивною дією на температуру підкату в процесі проходження ними ТЗУ на проміжному рольгангу (енкопанели, ТЗУ з касетами ТАЕ - 1, ТАЕ - 2 і ТОЕ) не вимагає витрат енергії, не рахуючи незначних витрат на роботу механізмів підйому/опусканню секцій ТЗУ, якими можна нехтувати. Характерною для цих ТЗУ є відносно проста їх конструкція[32].

Розраховані дані про витрату енергії при вживанні ТЗУ з касетами ПАТАЕ - 1 на проміжному рольгангу ШПСГП 2000 на при виконанні річного (2007 р.) замовлення, що враховують втрати на подачу електричного струму до екранів (прийняте 15 %), показують, що в річному численні витрата енергії при використанні прохідної тунельної печі ТесИп! (ТЗУ АТЕ) в цьому випадку в 7,5 разів вище.

Таблиця 2.2 – Витрата енергії на проміжному рольганге ШПСГП 2000 (рис. 2.10) при активній (тунельна піч) і псевдоактивній дії на температуру підкатів (задній кінець)

| Тип ТСУ на рис. 11 | Товщина підкату, | | | | | |
|-----------------------|---|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|
| | 32 | | | 34 | | |
| | Підви- щений ие температ уры входу у Р1. °С | Витрата енергії в ТЗУ, МДж/т | Витрата енергії на один град. підвищення температури, МДж/т К | Підвищення температури входу в Р1 °С | Витрата енергії в ТЗУ, МДж/т | Витрата енергії на один град. підвищення температури, МДж/т-К |
| ПАТАЕ - 2 | 89 | 24,9 | 0,28 | 62 | 19,2 | 0,31 |
| ПАТАЕ - 1 | 104 | 24,9 | 0,24 | 72 | 19,2 | 0,27 |
| АТЕ | 134 | 152 | 1,13 | 95 | 152 | 1,6 |

Висновки

Представлені теплозберігаючі установки (ТЗУ), що забезпечують зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу ШПСГП ТЗУ розділені на пасивні (енкопанелі, теплоакumuлюючі і тепловідображаючі екрани) і активні (псевдоактивні і активні; до останніх віднесена прохідна тунельна піч фірми ТесІп!).

За однакових умов прокатки на ШПСГП до моменту входу підкату в першу чистову кліть прохідна тунельна піч в 1,3 разу ефективніше знижує охолодження підкату порівняно з псевдоактивними екранами і в 1,7 рази - порівняно з теплоакumuлюючими (і тепловідображаючими) екранами. У свою чергу ТЗУ з псевдоактивними екранами в 1,3 ефективніше знижує охолодження підкату порівняно з теплоакumuлюючими (і тепловідображаючими) екранами.

При рішенні однієї і тієї ж задачі зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу використання пасивних екранів практично не вимагає витрати додаткової енергії. Використання псевдоактивних і активних екранів вимагає істотної витрати енергії (електричної, природного газу). За однакових умов прокатки витрата енергії на виконання річного замовлення при вживанні прохідної тунельної печі може в 7,5 разів перевищувати витрату енергії порівняно з використанням псевдоактивних екранів, що необхідно враховувати при ухваленні рішення про вживання прохідної тунельної печі.

Проходження підкатом тунельної печі закінчується формуванням істотного перепаду температури по товщині підкату із значеннями на верхній поверхні підкату, небажаними для ряду прокатуваних сталей.

Проходження підкатом ТЗУ з касетами псевдоактивних екранів закінчується на виході з ТЗУ приблизно в 2 рази меншим перепадом температури по товщині підкату порівняно з проходженням тунельної печі.

У обох випадках екранування до входу у вогнище деформації першої чистової кліті Р1 перепад температури по товщині підкату стабілізується з

приблизно однаковим перевищенням температури в центрі підкату порівняно з його поверхнями.

ТЗУ з пасивною дією на температуру підкату має досить просте конструктивне виконання. Їх вживання технічно і економічно виправдано на проміжних рольгангах ШСГП з сім'ю чистовими клітями, прокатки в яких здійснюється з прискоренням.

ТЗУ з активними (тунельна піч) і псевдоактивними екранами обґрунтовано експлуатувати на рольгангах, після проходження яких прокатку здійснюють на постійній швидкості.

3 ПАРАМЕТРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОКАТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ

3.1 Розрахунок кінематичних і енергосилових параметрів прокатування до оптимізації одержання штаби з розмірами 2,7×1050 Ст. 70Г на стані ШСГП 1680

Вихідний сляб $H = 150$ мм.

Розрахунки припустимих кутів захвата:

$$D = 0,92D_p;$$

$$1 \text{ кліть } D=0,92 \cdot 940=865 \text{ мм};$$

$$2 \text{ кліть } D=0,92 \cdot 810=745 \text{ мм};$$

$$3 \text{ кліть } D=0,92 \cdot 580=533 \text{ мм};$$

$$4 \text{ кліть } D=0,92 \cdot 590=543 \text{ мм}.$$

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 та швидкості прокатки не залежать від закону сталості обсягу.

$$V_{\text{дуо}}=0,99 \text{ м/с}, v_1=1,05 \text{ м/с}, v_2=1,1 \text{ м/с}, v_3=1,6 \text{ м/с}, v_4=2,2 \text{ м/с}.$$

Кліть ДУО

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

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

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

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{1120}{400} - 2 \right)^2 = 0.221$$

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

$$k_T = 1 + 0.43 \left(1 - \frac{40}{65} \right)^2 = 0.602$$

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

1-2 кліть

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

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

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

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{1100}{400} - 2 \right)^2 = 0.213$$

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

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

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

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

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

3-4 кліть.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$f_3 = f \cdot k_3$$

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

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

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

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

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

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 обчислень

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

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

$$\Delta h_1 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 1)^{0.9} = 0,36$$

$$\Delta h_2 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 2)^{0.9} = 0,316$$

$$\Delta h_3 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 3)^{0.9} = 0,2$$

$$\Delta h_4 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4 - 4)^{0.9} = 0,106$$

$$h_{np} = 20 \text{ мм.}$$

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

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

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

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

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

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

Чистова група клітей

В 5й кліті $\varepsilon = 40\%$

$$\Delta h_5 = \varepsilon \cdot h_{np} = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ мм}$$

В 10й кліті $\varepsilon=15\%$

$$\Delta h_{10} = h_{\kappa} \left(\frac{1}{1-\varepsilon} - 1 \right) = 1,2 \left(\frac{1}{1-0.15} - 1 \right) = 0.212 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\Sigma} = h_{np} - h_{\kappa} - \Delta h_5 - \Delta h_{10} = 20 - 1,2 - 8 - 0.212 = 10.58 \text{ мм}$$

$$\text{Тоді } \Delta h_i / \Delta h_{\Sigma} = 0.085 + 0.089(9 - ni)^{1.3}$$

$$\Delta h_6 / \Delta h_{\Sigma} = 0.085 + 0.089(9 - 6)^{1.3} = 0.456$$

$$\Delta h_7 / \Delta h_{\Sigma} = 0.085 + 0.089(9 - 7)^{1.3} = 0.304$$

$$\Delta h_8 / \Delta h_{\Sigma} = 0.085 + 0.089(9 - 8)^{1.3} = 0.174$$

$$\Delta h_9 / \Delta h_{\Sigma} = 0.085 + 0.089(9 - 9)^{1.3} = 0.085$$

$$\Delta h_6 = 10.58 \cdot 0.456 = 4.82 \text{ мм}$$

$$\Delta h_7 = 10.58 \cdot 0.304 = 3.21 \text{ мм}$$

$$\Delta h_8 = 10.58 \cdot 0.174 = 1.84 \text{ мм}$$

$$\Delta h_9 = 10.58 \cdot 0.085 = 0.69 \text{ мм}$$

Розрахунки швидкостей.

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

$$v_1=1.05 \text{ м/с}, v_2=1,1 \text{ м/с}, v_3=1.6 \text{ м/с}, v_4=2.2 \text{ м/с}.$$

А в чистовій групі йде безперервна прокатка $v_{10}=9\text{м/с}$.

$$v_i = v_{10} h_{10} / h_i$$

$$v_9 = 9 \cdot 1,2 / 1,44 = 7,66 \text{ м/с}$$

$$v_8 = 9 \cdot 1,2 / 2,12 = 5,1 \text{ м/с}$$

$$v_7 = 9 \cdot 1,2 / 3,96 = 2,72 \text{ м/с}$$

$$v_6 = 9 \cdot 1,2 / 7,17 = 1,50 \text{ м/с}$$

$$v_5 = 9 \cdot 1,2 / 12 = 0,9 \text{ м/с}$$

Розрахунки втрат температури.

Умовно приймемо, що сляб у першу кліть повинен подаватися з температурою не менше 1100 °С.

$$L_{1-2} = 12 \text{ м.}$$

$$L_{2-3} = 11 \text{ м.}$$

$$L_{3-4} = 20 \text{ м.}$$

Падіння Δt на рольгангу між клітьями.

$$1-2 \Delta t \approx 5 \text{ °С}$$

$$2-3 \Delta t \approx 10 \text{ °С}$$

$$3-4 \Delta t \approx 15 \text{ °С}$$

$$4-5 \Delta t \approx 60 \text{ °С}$$

$$t_H = 1100 \text{ °С} \quad \Delta t_i = 0.0021 \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \frac{\tau_i}{H_i}$$

$$\Delta t_1 = 0.0021 \left(\frac{1100 + 273}{100} \right)^4 \frac{9}{135} = 5,8 \text{ °С}$$

$$\tau_1 = L_1 / v_1 = 9 / 1 = 9$$

t_2 на вході в другу кліть

$$t_2 = t_H - \Delta t_1 - \Delta t_r - \Delta t_p = 1180 - 5,8 - 10 - 5 = 1079,2 \text{ °С}$$

$$\tau_2 = L_2 / v_2 = 12 / 1,05 = 11,43$$

$$\Delta t_2 = 0.0021 \left(\frac{1079 + 273}{100} \right)^4 \frac{11,43}{93,6} = 8,57 \text{ °С}$$

t_3 на вході в 3-у кліть.

$$t_3 = 1079 - \Delta t_2 - \Delta t_p - \Delta t_r = 1079 - 8,57 - 10 - 10 = 1050 \text{ °С}$$

$$\tau_3 = L_3 / v_3 = 11 / 1,6 = 6,9$$

$$\Delta t_3 = 0.0021 \left(\frac{1050 + 273}{100} \right)^4 \frac{6,9}{57,26} = 7,7^\circ C$$

t_4 на вході в 4-у кліть.

$$t_4 = 1050 - \Delta t_3 - \Delta t_p = 1050 - 7,7 - 15 = 1027,3^\circ C$$

$$\tau_4 = L_4 / v_4 = 20 / 2,2 = 9$$

$$\Delta t_4 = 0.0021 \left(\frac{1027 + 273}{100} \right)^4 \frac{9}{34,26} = 15,76^\circ C$$

t_5 на вході в 5-у кліть

$$t_5 = 1027 - \Delta t_4 - \Delta t_{np} = 1027 - 15,76 - 60 = 951^\circ C$$

Таблиця 3.1 – Режим деформації штаби 2.7×1050 Ст. 70Г

| № кліті | H мм | h мм | Δh мм | V м/с | $t^\circ C$ |
|---------|-------|-------|---------------|-------|-------------|
| ДУО | 150 | 125 | 25 | 0,99 | 1220 |
| 1 | 125 | 93,6 | 31,4 | 1,05 | 1200 |
| 2 | 93,6 | 57,26 | 36,34 | 1,1 | 1115 |
| 3 | 57,26 | 32,19 | 25,07 | 1,6 | 1090 |
| 4 | 32,19 | 20 | 12,19 | 2,2 | 1076 |
| 5 | 20 | 13 | 7 | 0,9 | 951 |
| 6 | 13 | 8,18 | 4,82 | 1,5 | 940 |
| 7 | 8,18 | 4,97 | 3,21 | 2,72 | 925 |
| 8 | 4,97 | 3,13 | 1,84 | 5,1 | 897 |
| 9 | 3,13 | 1,94 | 1,19 | 7,66 | 870 |
| 10 | 1,94 | 1,5 | 0,44 | 9 | 850 |

Температуру в клітях чистової групи знаходимо по формулі

$$t_i = t_{nk} - \left(\frac{t_{nk} - t_k}{\frac{h_{nk}}{h_k} - 1} \right) \left(\frac{h_{nk}}{h_i} - 1 \right)$$

$$t_6 = 951 - \left(\frac{951 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{7,18} - 1 \right) = 940^\circ C$$

$$t_7 = 951 - \left(\frac{951 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{3,97} - 1 \right) = 925^\circ C$$

$$t_8 = 951 - \left(\frac{951 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{2,13} - 1 \right) = 897^\circ C$$

$$t_9 = 951 - \left(\frac{951 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{1,44} - 1 \right) = 870^\circ C$$

$$t_{10} = 951 - \left(\frac{951 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{1,2} - 1 \right) = 850^\circ C$$

Розрахунок енергосилових параметрів прокатки

Кліть 1

$$\Delta h = 31,4 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{470 \cdot 31,4} = 139,5 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{125 + 93,6}{2} = 114,3 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 139,5 / 114,3 = 1,22$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{31,4}{114,3 + 20,7} = 0,31$$

$$u = \frac{1050 \cdot 0,31}{139,15} = 2,33c^{-1}$$

Вуглецевий коефіцієнт

$$N = C + Si + Mn + Cr + Ni + Cu + Al = 0,7 + 0,27 + 0,1 + 0,25 + 0,25 + 0,2 + 0,06 = 0,99\%$$

Базова границя текучості:

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 \left[1 - \left(\frac{5 - N}{4,5} \right)^{1,8} \right] = 80 + 25 \left[1 - \left(\frac{5 - 0,99}{4,5} \right)^{1,8} \right] = 80,46 H / мм^2$$

$$kt = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1100}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,76$$

Таблиця 3.2 – Границя текучості металу Ст.70Г

| Хімічний склад | % |
|----------------|-------------|
| Кремній (Si) | 0,17 - 0,37 |
| Марганець (Mn) | 0,9-0,12 |
| Мідь (Cu) | 0,2 |
| Нікель (Ni) | 0,25 |
| Сірка (S) | 0,035 |
| Вуглець (C) | 0,67 – 0,75 |
| Фосфор (P) | 0,035 |
| Хром (Cr) | 0,25 |

$$k\varepsilon = 1 + 0,43 \left(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2 \right) = 1 + 0,43 \left(1 + 6,3(0,5 - 0,31)^2 \right) = 1,52$$

$$ku = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 2,33) = 0,784$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 80,46 \cdot 0,76 \cdot 1,52 \cdot 0,784 = 72,9 H / мм^2$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,305 - 0,018 = 0,47$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d / h_{cc}) = 1,15 \cdot 72,9 (1 + 0,48 \cdot 0,47 \cdot 1,2) = 106,9 H / мм^2$$

Зусилля прокатки в 1 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 106,9 \cdot 0,1395 \cdot 1,1 = 16,4 МН$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cc}} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}} \right)}$$

Для 1 кліті $f/\alpha \approx 1$

$$\psi = (0,498 + 0,007)(1,22)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{1} \right)} = 0,494$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,494 \cdot 0,1395 \cdot 16,4 = 1,13 \text{ МН}$$

Момент тертя в шейках валків $d_{III} = 660 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 16,4 \cdot 0,003 \cdot 0,66 \left(\frac{940}{1340} \right) = 0,0227 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,11(2M + M_{mp1}) = 0,11(2 \cdot 1,13 + 0,0227) = 0,25 \text{ МНм}$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 2 \cdot 1,13 + 0,0227 + 0,25 = 2,532 \text{ МНм}$$

$$M_{\partial v} = M_{np} / i \quad i = 19,26$$

$$M_{\partial v} = 2,532 / 19,26 = 0,13 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N \partial \partial \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,05 \cdot 19,26 / 3,14 \cdot 0,94 = 411 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{6300 \cdot 0,9}{411 \cdot 10^2} = 0,134 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{\partial v}}{M_H} = 0,13 / 0,134 = 0,97$$

Двигун не перевантажений

$$N \partial \partial = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 2,532 \cdot 1,05 / 0,47 = 5430 \text{ кВт}$$

Кліть 2

$$\Delta h = 36,34 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{405 \cdot 36,34} = 121,3 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{93,6 + 57,26}{2} = 75,43 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 121,3 / 75,43 = 1,61$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{36,4}{75,43 + 18,2} = 0,38$$

$$u = \frac{1100 \cdot 0,38}{121,4} = 3,44c^{-1}$$

$$fn = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,291 - 0,018 = 0,44$$

$$kt = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1095}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,77$$

$$k\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,38)^2) = 1,47$$

$$ku = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 3,44) = 0,812$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 0,77 \cdot 1,47 \cdot 0,812 = 73,9H / \text{мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T(1 + 0,48fn \cdot l_d / h_{cc}) = 1,15 \cdot 66,4(1 + 0,48 \cdot 0,44 \cdot 1,61) = 102,32H / \text{мм}^2$$

Зусилля прокатки в 2 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 102,32 \cdot 0,1213 \cdot 1,1 = 13,65MH$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cc}} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 121,3 / 405 = 0,299$$

$$f / \alpha = 0,291 / 0,299 = 0,973$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 0,973)(1,61)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{0,973} \right)} = 0,478$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,478 \cdot 0,1213 \cdot 13,65 = 0,791MH$$

Момент тертя в шейках валків $d_{ш} = 480$ мм

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 13,65 \cdot 0,003 \cdot 0,48 \left(\frac{840}{1240} \right) = 0,013MHm$$

$$M_{mp2} = 0,11(2M + M_{mp1}) = 0,11(2 \cdot 0,791 + 0,013) = 0,175MHH$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 2 \cdot 0,791 + 0,175 + 0,013 = 1,77 \text{ МНм}$$

$$M_{\partial\partial} = M_{np} / i \quad i = 19,5$$

$$M_{\partial\partial} = 1,77 / 19,5 = 0,091 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{\partial\partial} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,1 \cdot 19,5 / 3,14 \cdot 0,81 = 500 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{500 \cdot 10^2} = 0,07 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{\partial\partial}}{M_H} = 0,091 / 0,07 = 1,3$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{\partial\partial} = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 1,77 \cdot 1,1 / 0,405 = 4615 \text{ кВт}$$

Кліть 3

$$\Delta h = 25,07 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{290 \cdot 25,07} = 85,27 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{57,26 + 32,19}{2} = 44,725 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 85,27 / 44,725 = 1,9$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5 \Delta h} = \frac{25,07}{44,725 + 12,53} = 0,437$$

$$u = \frac{1590 \cdot 0,437}{85,27} = 8,14 \text{ с}^{-1}$$

$$f_i = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,276 - 0,018 = 0,42$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1090}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,781$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2 \right) = 1 + 0,43 \left(1 + 6,3(0,5 - 0,437)^2 \right) = 1,44$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 8,14) = 0,87$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 0,781 \cdot 1,44 \cdot 0,78 = 70,6 \text{ H / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 fn \cdot l_d / hcc) = 1,15 \cdot 70,6 (1 + 0,48 \cdot 0,42 \cdot 1,9) = 112,3 \text{ H / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 3 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 112,3 \cdot 0,08527 \cdot 1,1 = 10,53 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 85,27 / 290 = 0,294$$

$$f / \alpha = 0,276 / 0,294 = 0,94$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 0,94) (1,9)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{0,94} \right)} = 0,467$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,467 \cdot 0,08527 \cdot 10,53 = 0,419 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 10,53 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{580}{1240} \right) = 0,006 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,11(2M + M_{mp1}) = 0,11(0,838 + 0,006) = 0,093 \text{ МНм}$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,838 + 0,006 + 0,093 = 0,937 \text{ МНм}$$

$$M_{\delta v} = M_{np} / i \quad i = 10,15$$

$$M_{\delta v} = 0,937 / 10,15 = 0,092 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N\delta\delta \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,59 \cdot 10,15 / 3,14 \cdot 0,58 = 530 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{530 \cdot 10^2} = 0,066 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$kn = \frac{M_{\delta v}}{M_H} = 0,092 / 0,066 = 1,39$$

Перевантаження в межах допуску

$$N\delta\delta = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,937 \cdot 1,59 / 0,29 = 4932 \text{ кВт}$$

Кліть 4

$$\Delta h = 12,19 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{295 \cdot 12,19} = 59,9 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{32,19 + 20}{2} = 26,09 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 59,9 / 26,09 = 2,295$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{12,19}{26,09 + 6,095} = 0,378$$

$$u = \frac{2210 \cdot 0,378}{59,9} = 13,95 \text{ с}^{-1}$$

$$f_i = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,266 - 0,018 = 0,41$$

$$kt = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1076}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,81$$

$$k\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,378)^2) = 1,47$$

$$ku = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 13,95 - 2,3) = 1,063$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 0,81 \cdot 1,47 \cdot 1,063 = 101,84 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T(1 + 0,48fn \cdot l_d / h_{cc}) = 1,15 \cdot 101,84(1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 2,295) = 170 \text{ Н / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 4й кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 170 \cdot 0,059 \cdot 1,1 = 11,03 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cc}} \right)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 59,9 / 295 = 0,203$$

$$f / \alpha = 0,266 / 0,203 = 1,31$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 1,31)(2,295)^{-\left(0,0145 + \frac{0,097}{1,31} \right)} = 0,471$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,471 \cdot 0,059 \cdot 11,3 = 0,314 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 11,03 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{590}{1240} \right) = 0,006 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,11(2M + M_{mp1}) = 0,11(2 \cdot 0,314 + 0,006) = 0,069 \text{ МНм}$$

$$Mnp = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 2 \cdot 0,314 + 0,006 + 0,069 = 0,703 \text{ МНм}$$

$$M\partial\epsilon = Mnp / i \quad i = 7,36$$

$$M\partial\epsilon = 0,703 / 7,36 = 0,095 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N\partial\partial \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 2,2 \cdot 7,36 / 3,14 \cdot 0,59 = 526 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{526 \cdot 10^2} = 0,07 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M\partial\epsilon}{M_H} = 0,095 / 0,07 = 1,36$$

Перевантаження в межах допуску

$$N\partial\partial = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,703 \cdot 2,2 / 0,295 = 5033 \text{ кВт}$$

Чистова група клітей, кліті 5, 6, 7, 8, 9, 10

Кліть 5

$$\Delta h = 7 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 \cdot 8} = 49,8 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{20 + 13}{2} = 16 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 49,8 / 16 = 3,11$$

$$u = \frac{v \cdot \epsilon}{l_d}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{7}{16 + 4} = 0,4$$

$$u = \frac{900 \cdot 0,4}{49,8} = 7,22c^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{951}{400} - 2 \right)^2 = 0,255$$

$$kv = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 0,9)^2 = 1,43$$

$$km = 1$$

$$f = 0,255 \cdot 1,43 \cdot 1 = 0,346$$

$$fi = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,346 - 0,018 = 0,53$$

$$kt = 1,66 - 1,1 \left(\frac{951}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,1$$

$$k\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,4$$

$$ku = 0,38 + 0,065(7 + \ln u) = 0,38 + 0,065(7 + \ln 7,22) = 0,96$$

$$\sigma_T = \sigma_{T8} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 1,1 \cdot 0,96 \cdot 1,4 = 118,95H / \text{мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T(1 + 0,48fn \cdot l_d / hcc) = 1,15 \cdot 118,95(1 + 0,48 \cdot 0,53 \cdot 3,11) = 245H / \text{мм}^2$$

Зусилля прокатки в 5 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 245 \cdot 0,0498 \cdot 1,1 = 13,4MH$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 49,8 / 310 = 0,16$$

$$f / \alpha = 0,2551 / 0,16 = 1,59$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 1,59)(3,11)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{1,59} \right)} = 0,467$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,467 \cdot 0,0498 \cdot 13,4 = 0,312MH$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396$ мм

$$M_{mp1} = P \cdot f_{nod} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 13,4 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,007MHM$$

$$M_{mp2} = 0,05(2M + M_{mp1}) = 0,05(0,624 + 0,007) = 0,0315MHM$$

$$Mnp = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,624 + 0,0315 + 0,007 = 0,6625MHM$$

$$M_{\partial\partial} = M_{np} / i \quad i = 7,24$$

$$M_{\partial\partial} = 0,6625 / 7,24 = 0,092 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N\partial\partial \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 0,9 \cdot 7,24 / 3,14 \cdot 0,62 = 200 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{200 \cdot 10^2} = 0,231 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{\partial\partial}}{M_H} = 0,092 / 0,231 = 0,39$$

Перевантаження в межах допуску

$$N\partial\partial = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,6625 \cdot 0,9 / 0,31 = 1846,4 \text{ кВт}$$

Кліть 6

$$\Delta h = 4,82 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 \cdot 4,82} = 38,65 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{13 + 8,18}{2} = 9,59 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 38,65 / 9,59 = 4,03$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{4,82}{9,59 + 2,41} = 0,4$$

$$u = \frac{1500 \cdot 0,4}{38,65} = 15,5 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{940}{400} - 2 \right)^2 = 0,257$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,5)^2 = 1,35$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,257 \cdot 1,35 \cdot 1 = 0,33$$

$$f_i = 1.6 \cdot f - 0.018 = 1.6 \cdot 0.33 - 0.018 = 0.51$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left(\frac{940}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1.13$$

$$k\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6.3(0.5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0.43(1 + 6.3(0.5 - 0.4)^2) = 1.4$$

$$ku = 1.03 + 0.1(\ln u - 2.3) = 1.03 + 0.1(\ln 15.5 - 2.3) = 1.07$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 1.13 \cdot 1,07 \cdot 1,4 = 136,2 \text{ H / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d \cdot / hcc) = 1,15 \cdot 136,2 (1 + 0,48 \cdot 0,51 \cdot 4,03) = 311 \text{ H / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 6 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 311 \cdot 0.03865 \cdot 1,1 = 13,2 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 38,65 / 310 = 0,125$$

$$f / \alpha = 0.33 / 0.125 = 2,64$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 2,64)(4,03)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{2,64} \right)} = 0,48$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.48 \cdot 0.03865 \cdot 13,2 = 0,245 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{D_{oo}} \right)$$

$$M_{mp1} = 13,2 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,0078 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,05(2M + M_{mp1}) = 0,05(0,49 + 0,0078) = 0,025 \text{ МНм}$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,49 + 0,025 + 0,0078 = 0,5228 \text{ МНм}$$

$$M_{\delta v} = M_{np} / i \quad i = 4,67$$

$$M_{\delta v} = 0,5228 / 4,67 = 0,112 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N \delta \delta \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,5 \cdot 4,67 / 3,14 \cdot 0,62 = 216 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{216 \cdot 10^2} = 0,214 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$kn = \frac{M\partial v}{Mn} = 0,112/0,214 = 0,52$$

Перевантаження в межах допуску

$$N\partial\partial = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,5228 \cdot 1,5 / 0,31 = 1214 \text{кВт}$$

Кліть 7

$$\Delta h = 3,21 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 \cdot 3,21} = 31,55 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H+h}{2} = \frac{8,18+4,97}{2} = 5,58 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 31,55 / 5,58 = 5,65$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{3,21}{5,58 + 1,605} = 0,44$$

$$u = \frac{2720 \cdot 0,44}{31,55} = 37,9 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{925}{400} - 2 \right)^2 = 0,24$$

$$kv = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 2,72)^2 = 1,195$$

$$km = 1$$

$$f = 0,24 \cdot 1,195 \cdot 1 = 0,27$$

$$f_i = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,27 - 0,018 = 0,41$$

$$kt = 1,66 - 1,1 \left(\frac{925}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,17$$

$$k\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,44)^2) = 1,44$$

$$ku = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 37,9 - 2,3) = 1,16$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 1,17 \cdot 1,44 \cdot 1,16 = 157,2 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T(1 + 0,48fn \cdot l_d / h_{cc}) = 1,15 \cdot 157,2(1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 5,65) = 381,8 \text{ Н / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 7 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 381,8 \cdot 0,03155 \cdot 1,1 = 13,25 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 31,55 / 310 = 0,101$$

$$f / \alpha = 0,27 / 0,101 = 2,67$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 2,67)(5,65)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{2,67} \right)} = 0,47$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,48 \cdot 0,031 \cdot 13,52 = 0,2 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 13,52 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,0078 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,05(2M + M_{mp1}) = 0,05(0,38 + 0,0078) = 0,019 \text{ МНм}$$

$$Mnp = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,38 + 0,019 + 0,0078 = 0,41 \text{ МНм}$$

$$M\partial\partial = Mnp / i \quad i = 2,75$$

$$M\partial\partial = 0,41 / 2,75 = 0,15 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N\partial\partial \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 2,72 \cdot 2,75 / 3,14 \cdot 0,62 = 230 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{230 \cdot 10^2} = 0,2 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$kn = \frac{M\partial\partial}{M_H} = 0,15 / 0,2 = 0,75$$

Перевантаження в межах допуску

$$N\partial\partial = 960 \cdot M \cdot R = 960 \cdot 0,41 \cdot 2,72 / 0,31 = 3454 \text{ кВт}$$

8 кліть

$$\Delta h = 1,84 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 \cdot 1,84} = 23,8 \text{ мм}$$

$$hcc = \frac{H+h}{2} = \frac{4,97+3,13}{2} = 3,05 \text{ мм}$$

$$l_d / hcc = 23,8 / 3,05 = 7,8$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{hcc + 0,5\Delta h} = \frac{1,84}{3,05 + 0,92} = 0,46$$

$$u = \frac{5100 \cdot 0,46}{23,8} = 98,6 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{897}{400} - 2 \right)^2 = 0,264$$

$$kv = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 5,1)^2 = 0,96$$

$$km = 1$$

$$f = 0,264 \cdot 0,96 \cdot 1 = 0,24$$

$$fi = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,24 - 0,018 = 0,366$$

$$kt = 1,66 - 1,1 \left(\frac{897}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,25$$

$$k\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,46)^2) = 1,42$$

$$ku = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 98,6 - 2,3) = 1,26$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 1,26 = 179,9 \text{ Н / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T(1 + 0,48fn \cdot l_d / hcc) = 1,15 \cdot 179,9(1 + 0,48 \cdot 0,366 \cdot 7,8) = 490 \text{ Н / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 8 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 490 \cdot 0,0238 \cdot 1,1 = 12,8 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 23,8 / 310 = 0,076$$

$$f / \alpha = 0,24 / 0,076 = 3,16$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 3,16)(7,8)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{3,16} \right)} = 0,474$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,474 \cdot 0,0238 \cdot 12,8 = 0,144 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396$ мм

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 12,8 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,0075 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,05(2M + M_{mp1}) = 0,05(0,288 + 0,0075) = 0,0148 \text{ МНм}$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,288 + 0,0148 + 0,0078 = 0,311 \text{ МНм}$$

$$M_{\partial\partial} = M_{np} / i \quad i = 2$$

$$M_{\partial\partial} = 0,311 / 2 = 0,155 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N\partial\partial \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 5,1 \cdot 2 / 3,14 \cdot 0,62 = 314 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{314 \cdot 10^2} = 0,147 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$kn = \frac{M_{\partial\partial}}{M_H} = 0,155 / 0,147 = 1,05$$

Перевантаження в межах допуску

$$N\partial\partial = 960 \cdot M \cdot R = 960 \cdot 0,311 \cdot 5,1 / 0,31 = 4912 \text{ кВт}$$

Кліть 9

$$\Delta h = 1,19 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 \cdot 0,69} = 14,6 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{3,13 + 1,94}{2} = 1,785 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 14,6 / 1,785 = 8,18$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{1,19}{1,785 + 0,345} = 0,32$$

$$u = \frac{7660 \cdot 0,32}{14,6} = 167,8 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{870}{400} - 2 \right)^2 = 0.266$$

$$kv = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 7.66)^2 = 0.805$$

$$km = 1$$

$$f = 0.266 \cdot 0.805 \cdot 1 = 0.203$$

$$fi = 1.6 \cdot f - 0.018 = 1.6 \cdot 0.203 - 0.018 = 0.307$$

$$kt = 1.66 - 1.1 \left(\frac{870}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1.33$$

$$ku = 1.03 + 0.1(\ln u - 2.3) = 1.03 + 0.1(\ln 167.8 - 2.3) = 1.31$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80.46 \cdot 1.33 \cdot 1.52 \cdot 1.31 = 213 \text{ H / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 fn \cdot l_d / hcc) = 1.15 \cdot 213 (1 + 0.48 \cdot 0.307 \cdot 8.18) = 540 \text{ H / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 9 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 540 \cdot 0.0146 \cdot 1.1 = 8.67 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0.498 + 0.007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{-\left(0.0145 + \frac{0.097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 14.6 / 310 = 0.047$$

$$f / \alpha = 0.203 / 0.047 = 4.32$$

$$\psi = (0.498 + 0.007 \cdot 4.32)(8.18)^{-\left(0.0145 + \frac{0.097}{4.32} \right)} = 0.488$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.488 \cdot 0.0146 \cdot 8.67 = 0.062 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{III} = 396 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 8.67 \cdot 0.003 \cdot 0.396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0.0051 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0.05(2M + M_{mp1}) = 0.05(0.124 + 0.0051) = 0.0064 \text{ МНм}$$

$$Mnp = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0.124 + 0.0051 + 0.0064 = 0.135 \text{ МНм}$$

$$M\delta = Mnp / i \quad i = 1.56$$

$$M\delta = 0.135 / 1.56 = 0.0865 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N \partial \partial \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 7,66 \cdot 1,56 / 3,14 \cdot 0,62 = 368 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{368 \cdot 10^2} = 0,125 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{\partial \partial}}{M_H} = 0,0865 / 0,125 = 0,7$$

Перевантаження в межах допуску

$$N \partial \partial = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,135 \cdot 7,66 / 0,31 = 3202 \text{ кВт}$$

Кліть 10

$$\Delta h = 0,44 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 \cdot 0,24} = 8,63 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{1,94 + 1,5}{2} = 1,32 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 8,63 / 1,32 = 6,54$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5 \Delta h} = \frac{0,44}{1,44} = 0,17$$

$$u = \frac{9000 \cdot 0,17}{8,63} = 177,3 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{850}{400} - 2 \right)^2 = 0,27$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 9)^2 = 0,768$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,27 \cdot 0,768 \cdot 1 = 0,197$$

$$f_i = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,197 - 0,018 = 0,297$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{850}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,4$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,17)^2) = 1,135$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 177,3 - 2,3) = 1,32$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot kt \cdot k\varepsilon \cdot ku = 80,46 \cdot 1,4 \cdot 1,135 \cdot 1,32 = 168,8 \text{ H / мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 fn \cdot l_d \cdot / hcc) = 1,15 \cdot 168,8 (1 + 0,48 \cdot 0,297 \cdot 6,54) = 375,1 \text{ H / мм}^2$$

Зусилля прокатки в 10 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 375,1 \cdot 0,00863 \cdot 1,1 = 3,56 \text{ МН}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{hcc} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 8,63 / 310 = 0,028$$

$$f / \alpha = 0,197 / 0,028 = 7,03$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 7,03) (6,54)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{7,03} \right)} = 0,518$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,518 \cdot 0,00863 \cdot 3,56 = 0,016 \text{ МНм}$$

Момент тертя в шийках валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 3,56 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,0021 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,05 (2M + M_{mp1}) = 0,05 (0,032 + 0,0021) = 0,053 \text{ МНм}$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,032 + 0,0021 + 0,053 = 0,087 \text{ МНм}$$

$$M_{\delta v} = M_{np} / i \quad i = 1,41$$

$$M_{\delta v} = 0,087 / 1,41 = 0,062 \text{ МНм}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N \delta \delta \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 9 \cdot 1,41 / 3,14 \cdot 0,62 = 391 \text{ об / мин}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{391 \cdot 10^2} = 0,118 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$kn = \frac{M_{\delta v}}{M_H} = 0,062 / 0,118 = 0,525$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{\partial\partial} = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,087 \cdot 9 / 0,31 = 2425 \text{кВт}$$

Таблиця 3.3 – Геометричні і енергосилові параметри прокатки штаб 2.7×1050 Ст. 70Г до модернізації

| № кліті | ld, мм | ld/h _{ср} , мм | σ _т , Н/мм ² | f | ρ _{ср} , Н/мм ² | P, МН | ψ | M _{пр} , МНм | N, кВт |
|---------|--------|-------------------------|------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-----------------------|--------|
| ДУО | 106,5 | 0,772 | 52,58 | 0,367 | 62,5 | 7,99 | 0,476 | 1,92 | 2414 |
| 1 | 139,5 | 1,22 | 72,9 | 0,305 | 106,9 | 16,4 | 0,494 | 2,532 | 5430 |
| 2 | 121,3 | 1,61 | 73,9 | 0,291 | 102,32 | 13,65 | 0,478 | 1,77 | 4615 |
| 3 | 85,27 | 1,9 | 70,6 | 0,276 | 112,3 | 10,53 | 0,467 | 0,937 | 4932 |
| 4 | 59,9 | 2,295 | 101,8 | 0,266 | 170 | 11,03 | 0,471 | 0,703 | 5033 |
| 5 | 49,8 | 3,11 | 118,95 | 0,346 | 245 | 13,4 | 0,467 | 0,6625 | 1846,4 |
| 6 | 38,65 | 4,05 | 136,2 | 0,33 | 311 | 13,2 | 0,48 | 0,5228 | 1214 |
| 7 | 31,55 | 5,65 | 157,2 | 0,27 | 381,8 | 13,25 | 0,47 | 0,41 | 3454 |
| 8 | 23,8 | 7,8 | 179,9 | 0,24 | 490 | 12,8 | 0,474 | 0,311 | 4912 |
| 9 | 14,6 | 8,18 | 213 | 0,203 | 540 | 8,67 | 0,488 | 0,135 | 3202 |
| 10 | 8,63 | 6,54 | 168,8 | 0,197 | 375,1 | 3,56 | 0,498 | 0,087 | 2425 |

3.2 Розрахунок кінематичних і енергосилових параметрів прокатування після оптимізації одержання штаби з розмірами 2.7×1050 Ст. 70Г на стані ШСГП 1680

Після нагріву штаби на проміжному рольгангу перед входом у чистову групи клітей, температура розкату збільшується на 40-60 °С. Приблизно

температура при в ході в чистову групу клітей буде дорівнювати $t=1020$ °С. 1-2 кліть твердість поверхні робочих валків 40HSD.

Чистова група клітей

В 5й кліті $\varepsilon=40\%$

$$\Delta h_5 = \varepsilon \cdot h_{np} = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ мм}$$

В 10-й кліті $\varepsilon=15\%$

$$\Delta h_{10} = h_k \left(\frac{1}{1-\varepsilon} - 1 \right) = 1,2 \left(\frac{1}{1-0,15} - 1 \right) = 0,212 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{\Sigma} = h_{np} - h_k - \Delta h_5 - \Delta h_{10} = 20 - 1,2 - 8 - 0,212 = 10,58 \text{ мм}$$

$$\text{Тоді } \Delta h_i / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - ni)^{1,3}$$

$$\Delta h_6 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 6)^{1,3} = 0,456$$

$$\Delta h_7 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 7)^{1,3} = 0,304$$

$$\Delta h_8 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 8)^{1,3} = 0,174$$

$$\Delta h_9 / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - 9)^{1,3} = 0,085$$

$$\Delta h_6 = 10,58 \cdot 0,456 = 4,82 \text{ мм}$$

$$\Delta h_7 = 10,58 \cdot 0,304 = 3,21 \text{ мм}$$

$$\Delta h_8 = 10,58 \cdot 0,174 = 1,84 \text{ мм}$$

$$\Delta h_9 = 10,58 \cdot 0,085 = 0,69 \text{ мм}$$

Розрахунки втрат температури.

t_5 на вході в 5-ту кліть

$$t_5 = 1116 - \Delta t_4 - \Delta t_{np} = 1116 - 20,5 - 30 = 1065,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температуру в клітках чистової групи знаходимо по формулі

$$t_i = t_{нк} - \left(\frac{t_{нк} - t_{к}}{\frac{h_{нк}}{h_k} - 1} \right) \left(\frac{h_{нк}}{h_i} - 1 \right)$$

$$t_6 = 1065,5 - \left(\frac{1065,5 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{7,18} - 1 \right) = 1040^\circ\text{C}$$

$$t_7 = 1065,5 - \left(\frac{1065,5 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{3,97} - 1 \right) = 1010^\circ\text{C}$$

$$t_8 = 1065,5 - \left(\frac{1065,5 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{2,13} - 1 \right) = 950^\circ\text{C}$$

$$t_9 = 1065,5 - \left(\frac{1065,5 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{1,44} - 1 \right) = 888^\circ\text{C}$$

$$t_{10} = 1065,5 - \left(\frac{1065,5 - 850}{\frac{20}{1,2} - 1} \right) \left(\frac{20}{1,2} - 1 \right) = 873^\circ\text{C}$$

Таблиця 3.4 – Режим деформації штаби 2.7×1050 Ст. 70Г

| № кліті | H мм | h мм | Δh мм. | V м/с | t°С |
|---------|-------|-------|----------------|-------|--------|
| ДУО | 150 | 125 | 25 | 0,99 | 1220 |
| 1 | 125 | 93,6 | 31,4 | 1,05 | 1100 |
| 2 | 93,6 | 57,26 | 36,34 | 1,1 | 1095 |
| 3 | 57,26 | 32,19 | 25,07 | 1,6 | 1090 |
| 4 | 32,19 | 20 | 12,19 | 2,2 | 1076 |
| 5 | 20 | 13 | 7 | 0,9 | 1065,5 |
| 6 | 13 | 8,18 | 4,82 | 1,5 | 1040 |
| 7 | 8,18 | 4,97 | 3,21 | 2,72 | 1010 |
| 8 | 4,97 | 4,13 | 1,84 | 5,1 | 950 |
| 9 | 4,13 | 3,54 | 1,19 | 7,66 | 888 |
| 10 | 3,54 | 2,7 | 0,44 | 9 | 873 |

Розрахунок енергосилових параметрів прокатування**5 кліть**

$$\Delta h = 7 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 \cdot 8} = 49,8 \text{ мм}$$

$$h_{cc} = \frac{H + h}{2} = \frac{20 + 13}{2} = 16 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cc} = 49,8 / 16 = 3,11$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_{cc} + 0,5\Delta h} = \frac{7}{16 + 4} = 0,4$$

$$u = \frac{900 \cdot 0,4}{49,8} = 7,22c^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^\circ}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{951}{400} - 2 \right)^2 = 0,255$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 0,9)^2 = 1,43$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,255 \cdot 1,43 \cdot 1 = 0,31$$

$$f_i = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,346 - 0,018 = 0,53$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{951}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,1$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,4$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln u) = 0,38 + 0,065(7 + \ln 7,22) = 0,96$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 80,46 \cdot 1,1 \cdot 0,96 \cdot 1,4 = 90,18 H / \text{мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d / h_{cc}) = 1,15 \cdot 118,95 (1 + 0,48 \cdot 0,53 \cdot 3,11) = 177,7 H / \text{мм}^2$$

Зусилля прокатки в 5 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 245 \cdot 0,0498 \cdot 1,1 = 9,65 \text{MH}$$

$$\psi = \left(0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha} \right) \left(\frac{l_d}{h_{cc}} \right)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha} \right)}$$

$$\alpha = l_d / R = 49,8 / 310 = 0,16$$

$$f / \alpha = 0,2551 / 0,16 = 1,59$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 1,59)(3,11)^{\left(0,0145 + \frac{0,097}{1,59}\right)} = 0,475$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,467 \cdot 0,0498 \cdot 13,4 = 0,312 \text{ МН}$$

Момент тертя в шейках валків $d_{ш} = 396$ мм

$$M_{mp1} = P \cdot f_{нод} \cdot du \left(\frac{Dp}{Doo} \right)$$

$$M_{mp1} = 13,4 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,007 \text{ МНм}$$

$$M_{mp2} = 0,05(2M + M_{mp1}) = 0,05(0,624 + 0,007) = 0,0315 \text{ МНм}$$

$$M_{np} = 2M + M_{mp1} + M_{mp2} = 0,624 + 0,0315 + 0,007 = 0,489 \text{ МНм}$$

$$M_{дв} = M_{np} / i \quad i = 7,24$$

$$M_{дв} = 0,6625 / 7,24 = 0,092 \text{ МНм}$$

$$M_{н} = 0,975 \frac{N_{дд} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 0,9 \cdot 7,24 / 3,14 \cdot 0,62 = 200 \text{ об / мин}$$

$$M_{н} = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{200 \cdot 10^2} = 0,231 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$kn = \frac{M_{дв}}{M_{н}} = 0,092 / 0,231 = 0,39$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дд} = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,6625 \cdot 0,9 / 0,31 = 1363 \text{ кВт}$$

Розрахунок наступних клітей робимо аналогічно розрахунку енергосилових параметрів прокатування в 5 кліті. Всі результати заносимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Геометричні і енергосилові параметри прокатки штаб 2,7×1050 Ст. 70Г після встановлення теплозахисних екранів на проміжному рольгангу

| № кліті | ld,мм | ld/h _{ср} , мм | σ_T , Н/мм ² | f | $\rho_{ср}$, Н/мм ² | P, МН | ψ | M _{пр} , МНм | N, кВт |
|----------------------|-------|-------------------------|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------|--------|-----------------------|--------|
| Чорнова група клітей | | | | | | | | | |
| 1 | 139,5 | 1,22 | 57,5 | 0,26 | 81,2 | 12,5 | 0,494 | 1,927 | 4133 |
| 2 | 121,3 | 1,61 | 59,2 | 0,25 | 88,02 | 11,75 | 0,471 | 1,501 | 3914 |
| 3 | 85,27 | 1,9 | 90 | 0,229 | 135,6 | 12,71 | 0,46 | 1,113 | 5858 |
| 4 | 59,9 | 2,295 | 90,5 | 0,222 | 142,7 | 9,4 | 0,46 | 0,583 | 4158 |
| Чистова група клітей | | | | | | | | | |
| 5 | 49,8 | 3,11 | 90,18 | 0,31 | 177,7 | 9,65 | 0,475 | 0,489 | 1363 |
| 6 | 38,65 | 4,05 | 107,3 | 0,3 | 233,7 | 9,93 | 0,476 | 0,39 | 1812 |
| 7 | 31,55 | 5,65 | 127,7 | 0,272 | 314 | 10,9 | 0,473 | 0,347 | 2933 |
| 8 | 23,8 | 7,8 | 159,2 | 0,237 | 430 | 11,3 | 0,473 | 0,273 | 4311 |
| 9 | 14,6 | 8,18 | 203 | 0,202 | 513 | 8,25 | 0,488 | 0,1289 | 1968 |
| 10 | 8,63 | 6,54 | 159 | 0,195 | 351 | 3,33 | 0,517 | 0,0335 | 641 |

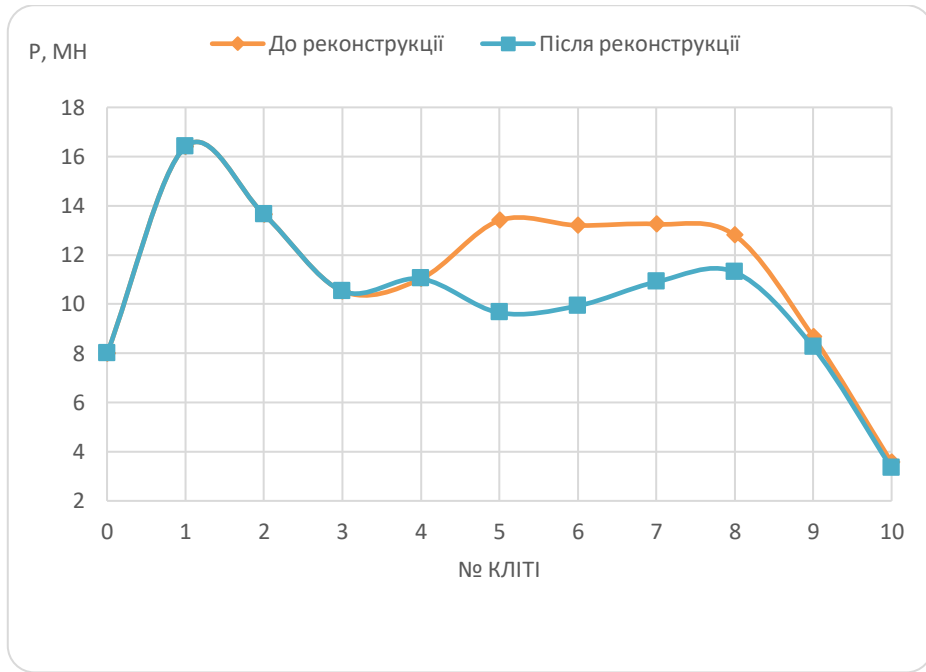


Рисунок 3.1 – Графік розподілу зусилля прокатування по клітях

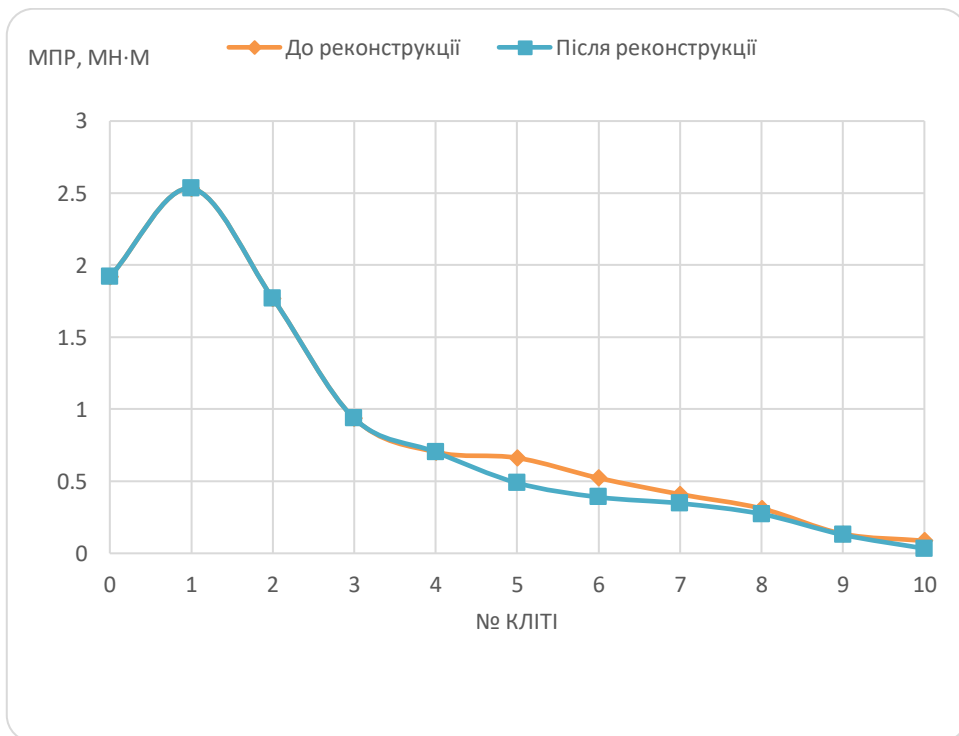


Рисунок 3.2 – Графік розподілу моменту прокатування по клітях

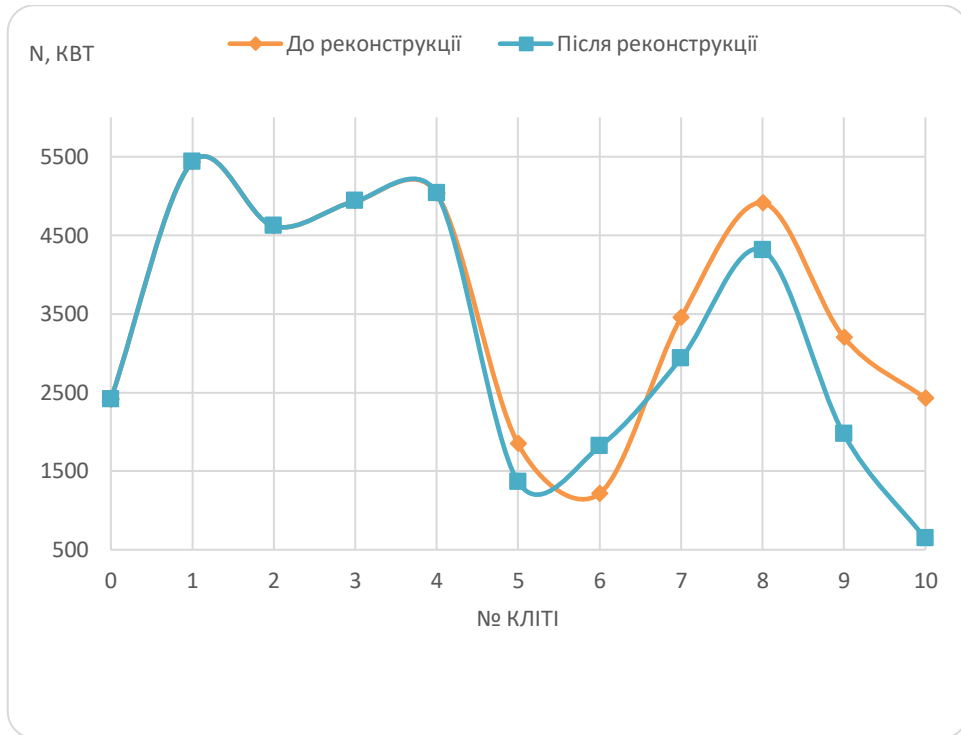


Рисунок 3.3 – Графік розподілу потужності двигуна при прокатування по клітях

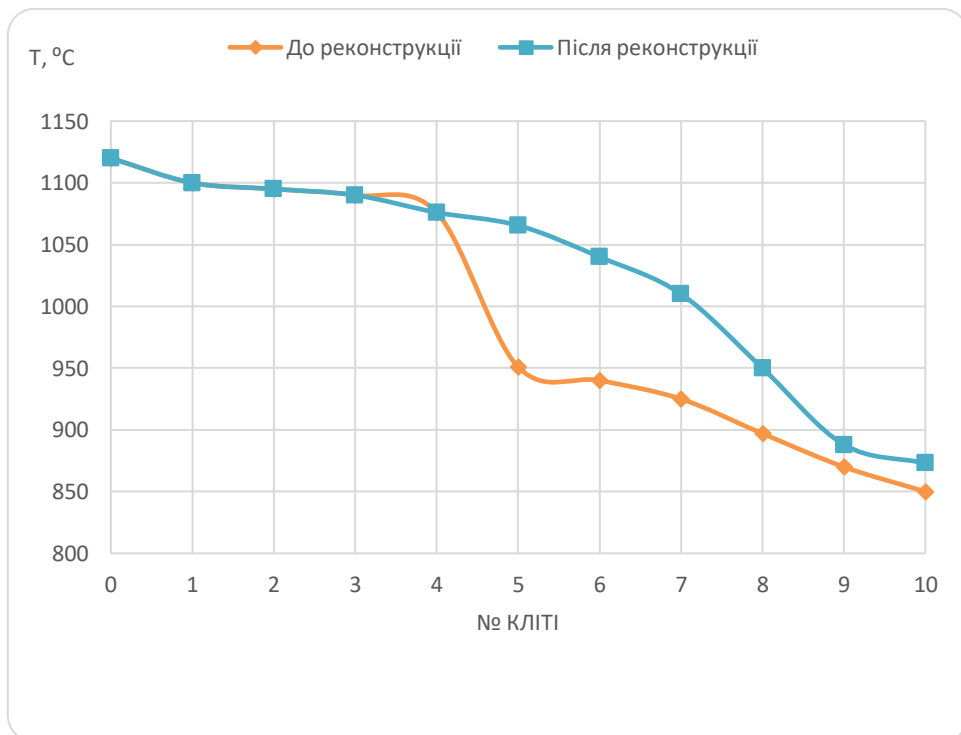


Рисунок 3.4 – Графік розподілу температури штаби при прокатуванні по клітях

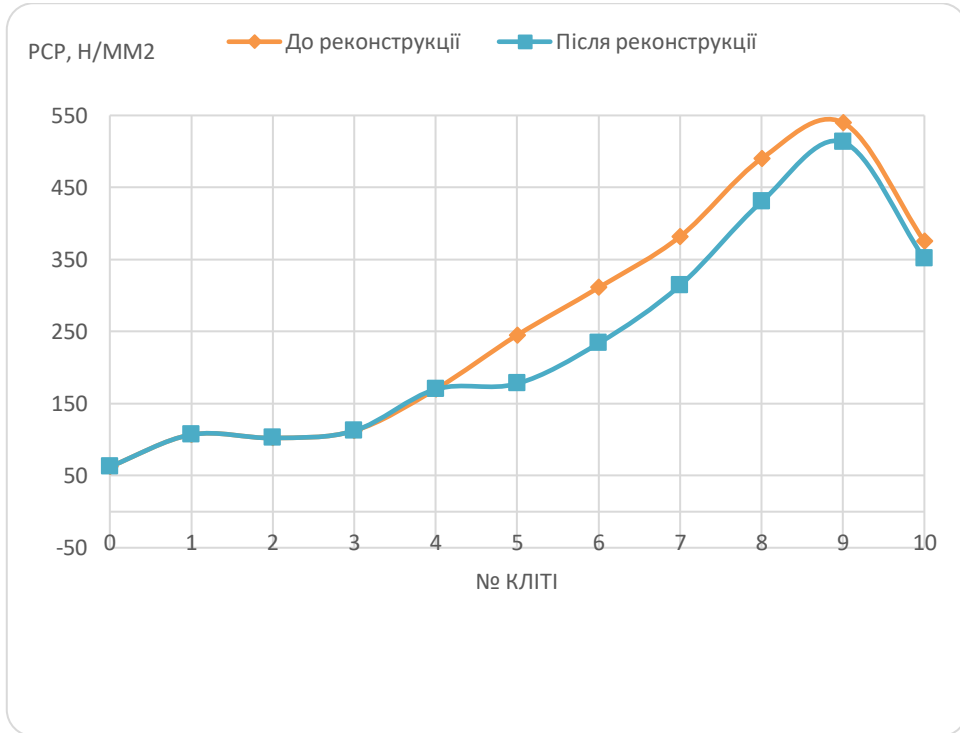


Рисунок 3.5 – Графік розподілу середнього контактного тиску при прокатуванні по клітях

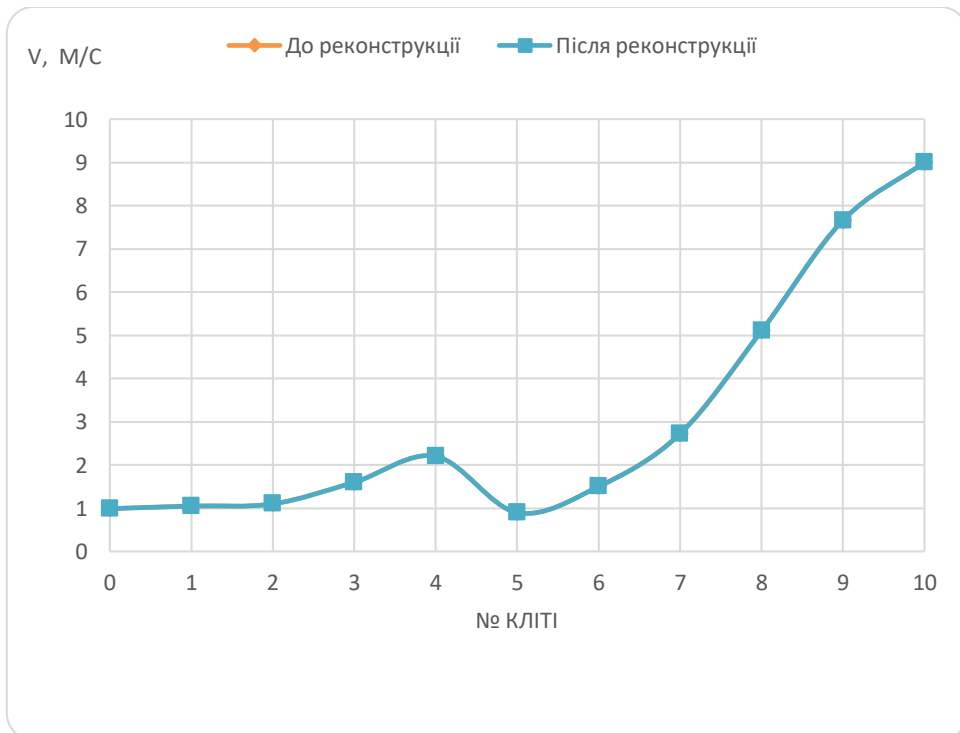


Рисунок 3.6 – Графік розподілу швидкості при прокатуванні по клітях

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

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, тиск, 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.

Основними шкідниками і небезпекою в цеху є: шум, вібрація, надлишкові теплові виділення на ділянках нагрівальних колодязів, робочої кліті стана, ножиців, рольгангів; запиленість і загазованість на деяких робочих ділянках; електронебезпечність; імовірність падіння вантажів із кранів [33].

Ступінь небезпеки виробничого процесу при гарячій прокатці значно вище, ніж при холодній, що пояснюється високою температурою прокатуємого

металу. При експлуатації прокатного стана існують такі небезпечні зони: зона біля валків, біля обертових шпинделів і з'єднання муфт. Характерна небезпека, з якою зв'язана робота прокатного стана - відлітання окалини й часток металу. Ділянками робіт із професійними шкідниками є також ділянки підвищеної загазованості та запиленості. Це ділянки нагрівальних печей, листопривильних машин, зачищення листів [34].

Додатковими небезпечними факторами при гарячій прокатці є температурний режим нагрівання, режим прокатки, швидкість його охолодження при деформації й т.д. При різанні металу на ножицях небезпечними є локальні зони що рухаються й обертаються частин механізму. Значно підвищує фактор безпеки процесу використання в потоці машин вогневого зачищення металу. При вогневому зачищенні можливий вибух газів. Інші технологічні операції (охолодження, таврування, складування металу) особливого впливу на рівень безпеки технологічного процесу не роблять. Наведена вище характеристика основних шкідників і небезпек змушує звернути увагу на проведення наступних заходів щодо оздоровлення умов праці:

- автоматизація технологічного процесу;
- обдування робочих місць за рахунок подачі охолодженого повітря;
- механізація трудомістких робіт;
- заземлення всіх металевих частин електроустаткування;
- застосування звукопоглинаючого облицювання;
- застосування захисних кожухів і екранів.

Інструкція з охорони праці для робітників механослужби ЦГПТЛ №05.04.99, є документом, що встановлює вимоги безпеки при виконанні робітниками та службовцями покладених на них обов'язків, а також безпечного поведіння на робочих місцях і території цеху [33].

У таблиці 4.1 наведена оцінка факторів виробничого і трудового процесу.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу

| Фактори | Нормативне значення, ГДУ, ГДР | Фактичне значення | 3 класи небезпечних умов., і характер праці | | | Час дії фактора, % за зміну |
|--|--|-------------------|---|------|------|-----------------------------|
| | | | 1 ст | 2 ст | 3 ст | |
| <i>1. Шкідливі хімічні речовини, мг/м³</i> | | | | | | |
| <i>1 клас небезпеки</i> | | | | | | |
| Ангідрид хромовий | 0,01 | 0,02 | 2 р. | | | 83,1 |
| <i>2 клас небезпеки</i> | | | | | | |
| Марганцю оксиди | 0,3 | 0,56 | 1,87р | | | 83,1 |
| <i>3-4 клас небезпеки</i> | | | | | | |
| Масла мінеральні | 5 | 6,5 | 1,3р | | | 83,1 |
| Азоту діоксид | 2 | 4 | 2 р. | | | 83,1 |
| Ангідрид сірчистий | 10 | 13,5 | 1,35р | | | 83,1 |
| Вуглецю оксид | 20 | 9,2 | | | | 83,1 |
| <i>2. Пил фібро генної дії, мг/м³</i> | | | | | | |
| Вміст кремнію діоксид 2,5% | 4 | 26,4 | | | 6,6р | 83,1 |
| <i>3. Шум, дБА</i> | | | | | | |
| | 80 | 93 | | 13 | | 100 |
| <i>4. Мікроклімат у приміщенні</i> | | | | | | |
| температура (тепл. період) повітря, °С | 18 - 27 | 40,5 | | | 13,5 | 83,1 |
| швидкість руху повітря, м/сек | 0,2 - 0,4 | 0,27 | | | | 83,1 |
| відносна вологість повітря, % | 40 – 60 | 46 | | | | 83,1 |
| інфрачервоне випромінювання, Вт/м ² | 140 | 654 | | 654 | | 79,8 |
| <i>5. Робоча поза</i> | | | | | | |
| Нахил корпусу в просторі, обумовлений технологічним процесом | перебування в похилому положенні понад | | | | | |
| | 28,10% | 30% | | | | |
| <i>5. Категорія робіт</i> | | | | | | |
| Середньої тяжкості (2а) | | | | | | |

Висновок: Характер праці ставляться до III класу 3 ступені. Робочі місця мають у наявності: 2 фактора 3 ступені, 5 факторів 1 ступеня, 1 фактор 2 ступені шкідливих і небезпечних умов праці. По показниках робоче місце варто вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Для усунення осідання пилу в приміщенні прокатного цеху, зменшуючи її кількість у повітрі, все устаткування закрите (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою воздуховодів із пристроями для очищення повітря, що видаляється.

Також у прольоті металургійної ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і видаляється через щілини вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Опалення побутових приміщень прокатного цеху здійснюється за допомогою панелей (батареї) у які як теплоносії використовують пару. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепlopостачання [34].

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідають вимогам СНіП 2-33-75 передбачена вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Нормовані величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

| Категорія робіт | Температура повітря в приміщенні, °С | Відносна вологість, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Середньої важкості (2а) | 18 - 27 | 40 - 60 | 0,2 - 0,4 |

Характеристика приміщення металургійної ділянки ЦГПТЛ:

- характер робіт.....середня точність
- розмір об'єкта розпізнавання, мм.....від 0,5 до
- розряд зорової роботи.....IV
- підрозділ роботи.....В
- контрастність об'єкта розпізнавання.....середня
- E_H - штучна, лк..... 300

Для ремонту устаткування прокатного цеху ЦГПТЛ передбачене штучне освітлення.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» для приміщень, у яких проводяться роботи 6 розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається комбіноване освітлення.

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:

$$\begin{aligned} \text{КПО}_{ln}^4 &= \text{КПО}_{ln}^3 \cdot m \cdot e; \\ \text{КПО}_{ln}^4 &= 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\% \end{aligned} \quad (4.1)$$

де КПО_{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.

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 термічних опіків 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 противошуми: навушники, шоломи, заглушки, що забезпечують

ослаблення шуму до рівня, що не перевищує допустимий. Застосування засобів захисту слуху перешкоджає розвитку професійної глухоти.

4.3 Електробезпека

Електроустаткування ділянки, якої ставиться до установок до 1000В (електричний привод, електроустаткування під'ємно-транспортних конструкцій, зварювальні апарати). Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв.

Всі струмоведучі частини ізольовані. Як захисна ізоляція застосовують теплостійкі лаки, чи електроізолюючі плівки, емалеві й олійні фарби.

Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з поверхнею, щоб утворювати на ній струмонепровідну плівку, вологонепроникну, механічно міцну плівку.

Як індивідуальний захист працівників від поразки електричним струмом передбачається забезпечення працівників захисними засобами:

- інструментом, що ізолює оперативні й вимірювальні штанги;
- гумовими діелектричними ботами, брезентовими рукавицями;
- додатковими засобами (ковриками, ковпаками);
- окулярами.

Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники. У цеху використають трифазну 4х-лінійну мережу.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих часток електроустаткування до заземлюючого нульового дроту називається захисним зануленням. Мета захисного занулення – перетворити пробій на корпус в коротке замикання між фазним і нульовим дротами, викликати тим самим протікання більшого струму через захист і швидко відключити пошкоджене устаткування від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більш 0,2сек. при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі при появі напруги на корпусі і інших металевих частках, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і додаткові захисні засоби. До основних відносяться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмопровідних часток, що знаходяться під напругою. До додаткових відносяться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і що забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, що ізолюють підставки і ін. Для забезпечення безпечної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно поряд з досконалим їх оснащенням засобами захисту так організувати їх експлуатацію, щоб була виключена всяка можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу [33].

4.4 Пожежна та техногенна безпека

Ділянка має категорію пожежонебезпеці Г (не горючі речовини розпечені або розплавлені, і горючі речовини спалюються або утилізуються як паливо). Будинок металургійної ділянки прокатного цеху відноситься до 1 ступеня вогнебезпечності.

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники, пожежний інвентар (вогнегасники, покривало з негорючого теплоізоляційного полотна (брезент), ящики з піском, бочки з водою, пожежні цебра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, сокири і ін.).

В цеху застосовуються пінні вогнегасники ВП-5 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8 і пересувні двобалонні й одно балонні ВП-2 і ВП-1.

На території комбінату забороняється:

- курити в неналежних місцях, а курити необхідно в спеціально відведених місцях;
- закривати й захарашувати фраги, проїзди, підїзди й підходи до будинків, водопроводам і пожежним гідрантам;
- виключати окремі ділянки водогінної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск у мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, що не пройшли інструктаж з пожежного безпеки;
- користуватися водою з пожежних водойм і засобами пожежогасіння не по прямому призначенню.

До заходів щодо захисту від виробничого шуму відносять:

- застосування спеціальних прокладок, що амортизують, при з'єднанні вузлів устаткування;
- застосування звукоізолюваних і звукопоглинаючих матеріалів при будівництві приміщень для операторів постів керування;
- застосування індивідуальних засобів захисту(антифони, пристрої по захисту органів слуху).

До заходів щодо захисту від вібрації передбачається:

- на ділянці зачищення металу встановити агрегати вибіркового зачищення;
- забезпечити працівників індивідуальними засобами захисту (віброрукавицями, вібровзуттям);
- для працівників кожні 1-1,5 години робити невеликі перерви в роботі з активною гімнастикою рук.

Можливі причини виникнення аварій на об'єкті, пов'язані з відмовою (неполадками) устаткування. До основних причинах належать:

- корозія устаткування і трубопроводів;
- фізичне зношування, механічне ушкодження, руйнування або температурна деформація устаткування і трубопроводів;
- відмови або збої в роботі автоматичних систем (збої в енергопостачанні).

Корозія устаткування і трубопроводів може стати причиною часткового руйнування технологічного устаткування. Аналіз аварій на аналогічних об'єктах дозволяє зробити висновки про те, що корозійне руйнування при достатній міцності конструкцій устаткування або трубопроводів, найчастіше має локальний характер. Однак, при несвоєчасній локалізації, воно може послужити джерелом ланцюгового розвитку аварійної ситуації (витоку газу, утвору газоповітряної токсичної хмари, пожежі або вибуху газоповітряної суміші).

Фізичне зношування, механічне ушкодження, руйнування або температурна деформація устаткування й трубопроводів може привести як до часткового, так і до повного руйнування технологічного устаткування і трубопроводів.

Рівень автоматизації технологічного процесу вимагає від обслуговуючого персоналу високої кваліфікації і підвищеного уваги. Особливу небезпеку представляють помилки при пуску і зупинці устаткування, ведення ремонтних, профілактичних і інших робіт, пов'язаних з нестійкими перехідними режимами, зі спорожнюванням і заповненням устаткування небезпечними речовинами. У випадку неправильних дій персоналу існує небезпека руйнування технологічних систем і виникнення аварій.

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.

До зовнішніх впливів природного й техногенного характеру можна віднести - стихійні лиха:

- сніжні замети, сильна ожеледь, сильна заметіль;

- дуже сильний мороз (- 30°C и нижче);
- дуже сильна жара (+ 40°C и більш);
- зсувні явища, осідання (провал) земної поверхні;
- сильний вітер, включаючи шквали й смерчі;
- великий гради, дуже сильний дощ, дуже сильний снігопад;
- сильне налипання (відкладання) снігу;
- грозові розряди й розряди статичної електрики;
- аварії на комунально-енергетичних мережах;
- навмисні дії (диверсія) [34].

При пожежі в електроустановках, що перебувають під напругою застосовують порошки типу СЧ. Для гасіння пожеж в прокатному цеху споруджена мережа зовнішнього й внутрішнього протипожежного водопроводу, що полягає із запасних резервуарів, насосної станції, водозабірних споруджень, трас трубопроводу, на яких через кожні 100м розміщують пожежний гідрант. Внутрішні пожежні крани для подачі води встановлені у шафках на майданчиках сходових кліток, у коридорах, обладнані пожежним рукавом довжиною 10 – 20 м, пожежним стовбуром зі сприском.

4.5 Розрахунок межі вогнестійкості стін складу масел

Розраховуємо межі вогнестійкості стін складу масел для умов стандартної пожежі, при яких температура пожежі змінюється в часі за логарифмічним законом:

$$t_n = 3451q (0,135 \tau + 1) + F_n, \quad (4.2)$$

де t_n - температура пожежі, °С;

τ - час, с;

t_n - початкова температура, $t_n = 20$ °С.

Для бетонних, цегельних, кам'яних і неметалевих стін, плит, межа вогнестійкості розраховується за принципом прогріву. Знаходять час, за який

температура поверхні, що не обігривається, підвищиться на 16 °С. Цей час і буде межею вогнестійкості конструкції.

Межа вогнестійкості, хв.:

$$\tau = 6.4 \cdot 10^{-4} \frac{(\delta + 60k\sqrt{a})^2}{\mu_1^2 \cdot a} \lg \frac{A_1}{0.13 - \frac{1}{1 + B_i}} \quad (4.3)$$

де B_i - критерій Біо;

δ - товщина стіни, м;

a – коефіцієнт температуропровідності, м/с;

K - коефіцієнт, що залежить від щільності матеріалу стіни в сухому виді;

μ_1, A_1 - коефіцієнт, що залежить від критерію Біо.

Критерій Біо:

$$B_i = \frac{\alpha}{\lambda} (\delta + 60k\sqrt{a}), \quad (4.4)$$

де α - середній за часом коефіцієнт тепловіддачі від, що не обігривається поверхні, Вт/м² К;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стіни, прийнятий при $t = 250^\circ\text{C}$, Вт/м к.

Коефіцієнт тепловіддачі можна знайти по емпіричній формулі:

$$\alpha = 4,8 + 9,1 \varepsilon$$

де ε - ступінь чорності, що не обігривається поверхні

(для бетону $\varepsilon \approx 967$)

Коефіцієнт температуропровідності:

$$\alpha = \frac{\lambda}{(c + 50\omega)\rho},$$

де c - теплоємність матеріалу (середня при $t = 250^\circ\text{C}$), Дж/К;

ρ - щільність, кг/м³;

ω - початковий ваговий зміст вологи, %, $\omega = 2\%$.

Теплоємність сухого бетону при 250 °С можна ухвалювати, 756 Дж/К.
 Вихідні дані для розрахунків межі вогнестійкості: матеріал стіни - бетон;
 товщина стіни - 0,5 м; щільність сухого бетону - 2300 кг/м³.

Коефіцієнт теплопровідності:

$$\alpha = \frac{1.06}{(756 + 50 \cdot 2)2300} = 5.38 \cdot 10^{-7},$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = 4.8 + 9.1 \cdot 0.67 = 10.9$$

Критерій Біо:

$$\beta_i = \frac{10.9}{1.06} \left(0.5 + 60 \cdot 0.62 \sqrt{5.38 \cdot 10^{-7}} \right) = 5.42$$

Межа вогнестійкості:

$$\tau = 6.4 \cdot 10^{-4} \frac{\left(0.5 + 6 \cdot 0.62 \sqrt{5.38 \cdot 10^{-7}} \right)^2}{2.654^2 \cdot 5.38 \cdot 10^{-7}} \cdot \lg \frac{-0.307}{0.13 \frac{1}{1 + 5.42}} = 50.5 \quad \text{õâ}$$

Температура пожежі:

$$t_n = 3451q(0.133 \cdot 3030 + 1) + 20 = 920^\circ\text{C}.$$

5 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

5.1 Проблеми ресурсозбереження в умовах металургійних підприємств України

Проблема ресурсозбереження в металомістких галузях виробництва пов'язана із продовженням ресурсу прокатних валків і створенням раціональних конструкцій для забезпечення якості металопродукції. По нормативних вимогах при зношуванні поверхневого робочого шару бочки, товщина якого становить 5-7 % від первісного діаметра і 13-14 % від маси валка, до подальшої експлуатації валок стає непридатним. Крім експлуатаційного зношування чимала частина валків списується через викрашування, сколовши, відшарувань, разгарних тріщин і інших дефектів, пов'язаних з напружено-деформованим станом. Технологічний процес одержання готового прокату є завершальною й найбільш відповідальною частиною металургійного виробництва, тому вдосконалювання методики проектування валків для прокатки нових високоміцних хромистих сталей є актуальним завданням.

Валки прокатних станів являють собою змінний інструмент, що не тільки здійснює процес пластичної деформації металу, але і конструкційно, що впливає на параметри прокатки. Профілювання й теплове режим валків впливають на стійкість технологічного процесу, а шорсткість поверхні валків - на всі явища у вогнищі деформації.

Зношування поверхні прокатних валків також впливає на технологічні процеси наступної прокатки слябів. Оскільки якість штаби закладається в чорновій групі клітей, то виправлення отриманих дефектів у чистових клітях трудомістко, а іноді неможливо. У свою чергу, від режимів і умов самої прокатки залежать корозійно-механічне зношування, витрата валків, якість металопродукції й економічні показники прокатного виробництва в цілому.

Особливості роботи валків зі складним навантаженням вимагають проведення теоретичних і експериментальних досліджень для встановлення впливу технологічних режимів обробки тиском - швидкості режимів прокатки, обтиснення, тиску, температури на експлуатаційну надійність і довговічність роботи валків.

Незважаючи на успіхи в області теорії й практики прокатного виробництва, багато завдань, пов'язані з вибором оптимальних характеристик і експлуатаційної надійності, міцності й зносостійкості прокатних валків залишаються невирішеними.

5.2 Проблеми споживання металопрокату в Україні

У сучасних умовах надмірні експортні орієнтації вітчизняної металургії ставить під загрозу подальший розвиток галузі, отже, і економіки в цілому.

По показнику споживання прокату на душу населення Україна суттєво поступається розвиненим країнам (156 кг/людину) і перебуває нижче 15-й позиції рейтингу Міжнародного інституту чавуну і сталі (відноситься до групи країн із споживанням прокату на рівні 150-200 кг/людину). Подібні об'єми споживання мають: Туреччина, Таїланд і Польща. При цьому потенційні можливості України дозволяють їй претендувати на місце в групі країн, споживаючі прокат у кількості 400-500 кг/людину. До цієї групи країн відносяться: Німеччина, Чехія, Італія, Іспанія, Словаччина.

Питома ж вага листового прокату у виробництві готового прокату виросла з 44,1% в 2005 р. до 45,5% в 2010 р., а споживання до 50% і надалі збільшуватиметься. Тому проблема отримання точного прокату за останні 10-15 років без перебільшення стала проблемою номер один прокатного виробництва в Україні.

В той же час слід зазначити, що значний потенціал споживання прокату в Україні визначається високим коефіцієнтом зносу основних фондів, які за

останній час практично не оновлювалися. Так, за інформацією Міжвідомчої комісії із питань науково-технічної безпеки при РНБОУ, зношеність устаткування і машин у вітчизняній промисловості перевищує 52%.

У пропозиціях за рішенням проблеми внутрішнього металовжитку можна виділити три основні напрями:

1. Вдосконалення звітності і інформаційних потоків по внутрішньому ринку металопродукції.

2. Розширення і розвиток співпраці споживачів і виробників металопродукції.

3. Стимулювання збільшення внутрішнього споживання металопродукції вітчизняного виробництва.

Найлегше здійсненними є заходи щодо забезпечення достовірності існуючої статистичної звітності. До них відносяться:

– Держкомстату і Мінпромполітики вирішити питання представлення достовірних даних по виробництву прокату на вітчизняних металургійних комбінатах;

– Держкомстату і Мінпромполітики забезпечити звітність всіх металургійних підприємств – виробників прокату про залишки у формі звітності 1-п (термінова);

– Мінекономіки уточнити методика оперативної оцінки внутрішнього металовжитку;

– Великих зусиль вимагає рішення питання інформаційного забезпечення.

Залучити великих металоспоживачів до освітлення своїх проблем на сторінках газет і журналів.

Для розширення і розвитку співробітництва споживачів і виробників металопродукції доцільно:

– Мінпромполітики проводити не рідше за 2 рази на рік спільні наради основних виробників і споживачів металопродукції з метою розширення їх співробітництва і дозволу за допомогою міністерства протиріч, що мають місце;

– Обладміністраціям основних металоспоживаючих галузей періодично проводити аналогічні наради на регіональному рівні;

– Мінекономіки і Мінпромполітики вивчити досвід співпраці виробників і споживачів металопродукції в країнах Центральної Європи, які раніше вже зіткнулися з аналогічною проблемою;

Створення умов для збільшення внутрішнього споживання металопродукції вітчизняного виробництва:

– стимулювання внутрішнього споживача новими схемами розрахунку за продукцію (скорочення термінів передоплати, переведення розрахунків на «інкасо» для постійних споживачів і ін.);

– у бюджеті на 2013 р. передбачити створення спеціального фонду для часткової компенсації високих банкових відсоткових ставок при здійсненні проектів, спрямованих на суттєве збільшення внутрішнього споживання металопродукції.

Здійснення вищенаведених заходів забезпечить якісний моніторинг внутрішнього споживання, своєчасність надання цієї інформації виконавським і законодавчим органам влади для ухвалення необхідних рішень.

Таким чином, дозволи даних проблем повинно забезпечити відповідне зростання споживання і зростання внутрішнього ринку. Разом з тим, необхідно мати достовірні прогнози його розвитку для реального планування, розміщення продукції як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках.

ВИСНОВКИ

Аналіз проблеми температурно-швидкісних параметрів прокатування інструментальних сталей показав необхідність регулювання температури металу в ключових точках технологічної лінії «нагрів слябів - гаряча прокатка штаб». Це дозволить підвищити швидкість прокатки і скоротити ресурсо - і енерговитрати, та призведе до скорочення витрат виробництва сталі.

Було визначено дві проблеми підвищення ефективності виробництва:

- недостатнє використання швидкісних можливостей стану при забезпеченні високої якості прокату;

- високу енергоємність листопрокатного комплексу «печі - стан».

Дослідження технології, що враховує фізико-механічні особливості інструментальних сталей, дозволить освоїти на стані виробництво гарячекатаних штаб із сталей 45,50,55 і 60Г-70Г розмірами (1,5-4,0) x (1000-1250) мм з механічними властивостями.

Визначено, що теплозберігаючі установки (енкопанелі, теплоакumuлюючі і тепловідображаючі екрани) забезпечать зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу ШПСГП. Так встановлено, що при однакових умовах прокатки на стані прохідна тунельна піч в 1,7 рази ефективніше знижує охолодження підкату порівняно з теплоакumuлюючими і тепловідображаючими екранами. Також при рішенні однієї і тієї ж задачі зниження охолодження підкату на проміжному рольгангу використання пасивних екранів практично не вимагає витрати додаткової енергії.

Проходження підкатом тунельної печі закінчується формуванням істотного перепаду температури по товщині підкату із значеннями на верхній поверхні підкату, небажаними для ряду прокатуваних сталей.

Встановлено, що запровадження на проміжних рольгангах ШСГП теплозберігаючих технологій технічно і економічно виправдано та оптимізує температурно-швидкісні параметри прокатки інструментальних сталей.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ТІ_226-ОВЗ-12-2014 Прокатка полос на тонколистовому стані.
2. ТІ 226-ОБЗ-21-2011 Виробництво гарячекатаного прокату.
3. В. А. Николаев. Горячая прокатка листов и полос Учебное пособие. Часть 1. Запорожье, ЗНТУ, 2012. - 178 с
4. ТІ 226 П.ГЛ-01-2010 Нагрів слябів
5. Чижигов Ю.М. Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов. М.: Metallurgiya, 1965 - 168 с.
6. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali. Spravochnik. Tom II. М.: Metallurgiya, 1983-286 с.
7. *Николаев, В. А.* Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах [Текст] / В. А. Николаев, А. Ю. Путноки. – Запорожье : Дикое Поле, 2011. – 180 с. – Биб-лиогр. : с. 166-179. – ISBN 978-966-2994-67-4.
8. *Николаев, В. О.* Виробництво плоского прокату [Текст] / В. О. Николаев, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2010. – 320 с. – Бібліогр. : с. 310-317. – ISBN 978-966-8462-27-6.
9. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов - М. Metallurgiya, 1985. - 376 с.
10. Полухин П.И., Федосов Н.М. и др. Прокатное производство. М: Metallurgiya, 1982. - 696 с.
11. Данченко В. Н. Непрерывная прокатка полос [Текст]/ Штехно О. Н., Молчанов А. И; под ред. В. Н. Данченко. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. – С. 7–136
12. Серета Б. П. Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів. Навч. пос - Запоріжжя; Вид-во ЗДІА, 2002.-264с.
13. Термічна обробка Навчальний посібник для студентів ЗДІА (упор. Серета Б.П. - Запоріжжя; Вид-во ЗДІА, 2003.270с.
14. Нікберг І. М. Пристрій і експлуатація прокатних станів. Metallurgiya, 1961-654с.

15. В. А. Николаев. Теория процессов прокатки (изд. 3-е, дополн.): Учеб. Пособие / Запорожье: Издательство ЗГИА, 2001. – 188 с.
16. Н. С. Спиридонов. Графоаналитический метод определения плеча полной равнодействующей. Сб. «Прокатное производство». Труды Института черной металлургии, т. X., изд. АНУССР, 1956.
17. Н. М. Кирилин. Аналитическое определения положения равнодействующей давления металла на валки при простом процессе прокатки. Известия высших учебных заведений, Машиностроение, 1959, №11.
18. R. B. Sims. Devy United Engineering, vol., №2, 1956. (реф. Экспресс-информация, «Прокатка и прокатное оборудование», № 114-117, 1957).
19. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учеб. Пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: «Металлургия», 1985. 376 с.
20. В. А. Николаев. Влияние различных факторов на коэффициент плеча момента при прокатке полос.
21. Сафьян М. М., Холодный В. П. Экспериментальное определение плеча крутящего момента при холодной прокатке легированных сталей // Обработка металлов давлением, сб. тр. ДМетИ, XLVIII. – М. : Металлургия, 1962. – с. 228-236.
22. М. М. Сафьян. Экспериментальное исследование плеча момента при холодной прокатке. Сборник трудов ДМетИ, вып. 39. Металлургиздат, 1960.
23. В.Л.Мазур. Некоторые пути решения проблемы теплосбережения в прокатном производстве. /Сучасні проблеми в металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ „Системні технології“, - 2005. -576с.
24. Чекмарев А. П., Клименко П. Л. Удельное давление и плечо момента прокатки // Обработка металлов давлением, сб. тр. ДМетИ, XLIX. М.: Металлургия, 1965. – с. 210-237.
25. Экспериментальное определение коэффициента плеча момента при холодной прокатке/ М. М. Сафьян, Я. Д. Василев, Ю. Я. Кармазин и др. //

Обраб. Металлов давлением, сб. тр. ДМетИ, LVII. – М.: Металлургия, 1971. – с. 184-187.

26. Теория прокатки: Справочник / А. И. Целиков, А. Д. Томленов, В. И. Зюзин и др. – М.: Металлургия, 1982.-335 с.

27. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М. : Металлургия, 1969. – 464 с.

28. Бернштейн М. Л., Капуткина Л. М., Добаткин С. В., Пахомова М. Я. Коррозионные и механические св-ва ферритно-аустенитной стали 03Х26Н6 после термической и термомеханической обработок // ФХММ. 1984. №2. с. 38-42.

29. Добаткин С. В., Пахомова М. Я., Аринушкин И. Д. Структурные изменения в ферритно-аустенитной стали 03Х26Н6 при горячем кручении // Изв. Вузов. Черная металлургия. 1985. №3. с. 153-154.

30. Бернштейн М. Л., Добаткин С. В., Капуткина Л. М., Прокошкин С. Д. Процессы динамического разупрочнения в ходе горячей деформации. – В кн.: Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства металлов. – Тула: ТПИ. 1980. с. 41-46.

31. Капуткина Л. М., Добаткин С. В., Пахомова М. Я. Влияние исходной структуры на сверхпластическую деформацию двухфазовой стали 03Х26Н6 // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их упрочнения: Материалы семинара. – М.: МДНТП, 1984. с. 32-35.

32. Оптимізація процесів обробки металів тиском. Метод. Вказівки до практичних занять та самостійної роботи для студентів ЗДІА спеціальності 8.090404 (ОМТ) / Укладачі Б. П. Серета, І. В. Кругляк, Ю. О. Белоконь. – Запоріжжя, 2006. – 79 с.

33. Охрана праці в чорній металургії. Бринза В. М. Зінківський М.М. М.: Металургія, 1982-366с.

34. Дроздов В. Ф. Опалення та вентиляція