**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М. ПОТЕБНІ**
Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

# Кваліфікаційна робота / проект

Перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка технології прокатки штаби 1,8х1200 мм зі сталі S235JR на стані гарячої прокатки**

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1360-омт
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Обробка металів тиском
(код і назва освітньої програми)
М. В. Вернидуб
(ініціали та прізвище)

Керівник
проф. каф. МТЕТБ, д.т.н. Ю. О. Бєлоконь

Рецензент
доц. каф. МТЕТБ, доц., к.т.н. Д.О. Кругляк

Запоріжжя – 2024 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**Запорізький національний університет**
( повне найменування вищого навчального закладу )

Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___
Рівень вищої освіти __перший (бакалаврський) рівень_____
Спеціальність _____136 «Металургія»_____
(код та назва)
Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТБ
_____Ю.О. Бєлоконь
“_12_” ___02_____2024 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____Вернидуб Михайло Васильович_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка технології прокатки штаби 1,8х1200 мм зі сталі S235JR на стані гарячої прокатки**

керівник роботи (проекту)__Бєлоконь Юрій Олександрович, д.т.н., проф.___,
( прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 12. 23 р. № 2215-с

2. Строк подання студентом роботи _____10 червня 2024 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали виробничої (переддипломної) практики, курсові проєкти, технічна документація ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси. Розміри штаби 1,8х1200 мм, сталь - S235JR_____

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

Мета кваліфікаційної роботи – розробка режиму прокатки штаб 1,8х1200 мм зі сталі S235JR шляхом оптимізації режиму деформації чистової групи клітей стану гарячої прокатки 1680 ПАТ “Запоріжсталь”.

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

Презентація до 15 слайдів (графіки залежностей, схем деформацій, схеми розміщення устаткування та обладнання тощо).

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата завдання прийняв |
|---|---|---|
| 1 Загальна частина | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |
| 2 Технологічна частина | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |
| 3 Механічна частина | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |
| 4 Охорона праці та техногенної безпеки | Бєлоконь Ю.О., проф. каф. МТЕТБ | |

7. Дата видачі завдання __26.12.2023 року.__

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Реферат, вступ, розділ 1. | 12.02.24 – 13.03.24 | |
| 2. | Розділи 2 - 3 | 16.03.24 – 17.04.24 | |
| 3. | Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації. | 20.04.24 – 24.05.24 | |

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

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

**Нормоконтроль пройдено**
**Нормоконтролер** _____ **Ю. О. Бєлоконь**
( підпис ) (прізвище та ініціали)

# РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра: 75 с., 25 табл., 5 рис., 19 бібл. джерел.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПРОКАТНА КЛІТЬ, ВАЛКИ, ТОВЩИНА, ОБТИСК, РОЗКАТ, ОКАЛИНА, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, ЧИСТОВИЙ ОКАЛИНОЛОМ, НАТЯГ, ОХОЛОДЖЕННЯ

Головна мета – розробка режиму прокатки штаб 1,8х1200 мм зі сталі S235JR шляхом оптимізації режиму деформації чистової групи клітей стану гарячої прокатки 1680 ПАТ “Запоріжсталь”.

При виконанні реконструкції згідно розрахункового проєкту: зменшення товщини прокату з 2 до 1,8 мм для тонких штаб; підвищення швидкості прокатки з 8,5 до 10 м/с; обсяг виробництва після модернізації підвищується на 16%.

# ЗМІСТ

Вступ ……6
1 Загальна частина…… 7
1.1. Аналіз сортаменту стана гарячої прокатки 1680...…… 7
1.2. Характеристика устаткування стана гарячої прокатки 1680…..… 13
1.3. Технологічний процес гарячої прокатки штаб……. 18
1.4. Аналіз устаткування, технології і якості продукції, що випускається ……..21
2 Технологічна частина ……...…….....24
2.1. Обґрунтування доцільності пропонованих технічних рішень...…. 24
2.2. Розробка технології гарячої прокатки штаби 1,8х1200мм на стані гарячої прокатки 1680……..…….....25
2.3. Розробка режиму деформації при виробництві штаби 1,8х1200 мм…….……. 26
2.4. Розрахунок енергосилових параметрів ...……..28
2.5. Розрахунок годинної продуктивності стану……..41
3 Механічна частина…….……...……42
3.1. Розрахунок валка на міцність…….……..……..….42
3.2. Розрахунок на міцність станини……...…… 46
3.3. Розрахунок пружної деформації кліті ……...53
4 Охорона праці та техногенна безпека…….……..…… 59
4.1. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації стана гарячої прокатки 1680……...…… 59
4.2. Технічні рішення з санітарії та гігієни праці на дільниці…….....61
4.3. Протипожежна безпека …….……68
4.4. Заходи щодо охорони навколишнього середовища……..71
Висновки …… 73
Перелік джерел посилання ……74

# ВСТУП

Приватне акціонерне товариство металургійний комбінат «Запоріжсталь» спеціалізується головним чином на випуску гарячекатаних і холоднокатаних рулонів і листів. Незважаючи на падіння цін на дану продукцію в середньому до 300 дол. / тонн, підприємство працює з прибутком. На сьогоднішній день EBITDA (прибуток до вирахування податків, відсотків і амортизації) "Запоріжсталі" становить 250 млн дол.

Мінімальні ціни на металургійну продукцію - не єдина проблема "Запоріжсталі". Є ціла низка внутрішньоукраїнських проблем. В першу чергу – це повномасштабне вторгнення та агресія проти України у 2022 році. Проте, у минулому році ПАТ «Запоріжсталь» вийшов на історичний максимум по виробництву. За перші місяців 2024 року запорізькі металурги збільшили виробництво сталі і прокату на 1,5% і 1,4%, до 2,979 млн т. і 2,546 млн т. відповідно.

У планах у запорізьких металургів масштабна модернізація виробництва, яка передбачає будівництво нового конвертерного цеху з ливарно-прокатними модулями потужністю 5 млн т/рік.

# 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз сортаменту стана гарячої прокатки 1680

Безперервні стани гарячої прокатки застосовують для прокатки широкого сортаменту штаб з вуглецевих, низьколегованих і нержавіючих сталей. Швидкість прокатки досягає 10 м/с [2].

Підкатом служить гарячекатаний сляб, що поставляється відповідно до СТП 226-05-98 (марки сталі, стандарти на хімічний склад сталі, товщина підкату приведені в таблиці 1.1.).

По розмірах і відхиленням, що допускаються, гарячекатаний прокат повинен відповідати вимогам ГОСТ 19903-74, ГОСТ 4041-71, ГОСТ 16523-97, ГОСТ 14637-89, а також технічним умовам й стандартам підприємства .

Таблиця 1.1 - Сортамент безперервного стану “1680” [2]

| Група сталі | Товщина штаби, мм | Ширина штаби, мм | Товщина сляба, мм | Довжина сляба, мм | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | одинарних | полутор-них | подвійних |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Полуспокійні, киплячі, нестар. (08Ю) | 2,0-9,0 | 1000-1120<br>1120-1280 | 105-168 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| | 2,0-3,7 | 1120-1280<br>1280-1500 | 105-155 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| | 3,8-9,0 | 1280-1500 | 105-165 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| | 2,5-3,7 | | 105-150 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| | 3,8-9,0 | | 105-160 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| Спокійні | 2,0-4,9 | 1000-1400 | 105-150 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| | 5,0-9,0 | 1000-1400 | 105-160 | 2100-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |

Продовження таблиці 1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Низьколеговані | 3,0-4,9<br><br>5,0-9,0 | 1000-1280<br>1000-1400 | 105-150<br><br>105-160 | 2100-2200<br>2100-2200 | 3200-3900<br>3200-3900 | 4200-4700<br>4200-4700 |
| Високо вуглецеві (70Х, 65Г, 60С2) для ремонт. цілей | – | 1000-1270 | 105-135 | 2100-2200<br>2100-2200 | – | – |
| Високо вуглецеві (65Г) для подальшого переділу | 2,7-6,0 | 1000-1250 | 110-160 | 2000-2200 | 3200-3900 | 4200-4700 |
| Високо вуглецеві ст.45, 55 | 2,5-6,0 | 1000-1250 | 110-135 | – | 3200-3900 | 4200-4700 |

У даній кваліфікаційній роботі розглядається марка сталі S235JR. Сталь S235JR, хімічний склад якої відрізняється низьким вмістом вуглецю, характеризується високою міцністю, а також високою зварюваністю. За рахунок низького процентного вмісту вуглецю S235JR володіє хорошими профілезгинальні властивостями, що істотно розширює сферу її використання. Щільність сталі S235JR - 7,86 т/м³.[17]

Зварюваність - марка сталі підходить для зварювання, проводитися зварювання без підігріву і без наступної термообробки.

З даної марки сталі S235JR випускають деталі і частини вантажних вагонів, екскаваторів і лісозаготівельної техніки, морських споруд, автомобільних мостів, будівельних конструкцій, нафтових і газових платформ.[18]

Сталь випускають з товщиною 1,5 мм - 300 мм, шириною 1200-4020 мм, довжиною 3000-27000 мм.

Готова продукція, марки S235JR, поставляється у довжиною 3000-27000 мм. Готова продукція, марки S235JR, поставляється у вигляді плоского і довгомірного прокату та заготовок, призначених для подальшої переробки на холоднокатаний лист .

Таблиця 1.2 – Хімічний склад марки сталі S235JR ГОСТ (EN 10025-2) [5]

| Марка сталі | C | Mn | Si | S | P | Ni | Cr | Cu | $N_2$ | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Не більш | | | | | | | Не менш |
| S235JR | 0,11-0,17 | 0,50-0,75 | 0,03 | 0,035 | 0,035 | 0,30 | 0,03 | 0,30 | 0,008 | 0,02 |

Особливості технології виробництва слябів зі сталі S235JR.

Посадка зливків марки сталі S235JR виконується в нормально працюючі комірки нагрівальних колодязів при повній справності контрольно-вимірювальної апаратури.

Для нагрівання зливків марки сталі S235JR використовуються одиночні комірки 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14 груп нагрівальних колодязів.

Як виключення, при відсутності вільних одиночних комірок допускається нагрівання в спарених комірках .

З метою виключення переплутування марок сталей не допускається посадка в одну комірку зливків одного типу двох різних марок сталі. З метою підвищення температури гарячого всаду зливки, що надходять у проліт нагрівальних колодязів, садять не пізніше чим через 45 хв. після прибуття у відділення нагрівальних колодязів.

Зливки марки сталі S235JR садять не пізніше часу, застереженого міжзаводськими технічними умовами (не пізніше 7 годин від кінця розливання). У противному випадку необхідний дозвіл на прокатку металу по виходу придатного.

Забороняється посадка зливків в комірку з перегрітими насадками. При необхідності охолодження комірки для посадки застуджених зливків марки

сталі S235JR диспетчер цеху дає відповідну вказівку старшому нагрівальнику.

Фактична температура осередку перевіряється по потенціометру після витримки її не менш 15 хв., при закритій кришці.

Забороняється досаджування зливків гарячого всаду в осередок при нагріванні в ній холодних зливків незалежно від температури комірки.

Щоб уникнути застуджування насадок регенераторів і для своєчасного спуску шлаків у всіх комірках кожні 2-3 доби виконується нагрівання не менш 2 садок вуглецевого металу. Після кожного нагрівання холодного всаду до посадки нової партії зливків комірки повинні бути розігріті до $1300^0$C с витримкою не менш 15 хв. і наступним охолодженням до заданої температури посадки.

Перед посадкою зливків марки сталі S235JR у колодязі, комірки повинні бути розігріті до температури не більше 800°C. Завантаження зливків у колодязі проводиться кранами із кліщовим захватом поплавочно у вертикальному положенні прибутковою частиною нагору. Тривалість томління зливків марки сталі S235JR становить 2,5 - 3,5 г.

У випадку підвищеного температурного перекосу насадок допускається для його усунення збільшувати на 5-6 хв. тривалість подачі газової суміші через більш нагріту насадку при перекиданні клапанів.

При нагріванні зливків марки сталі S235JR у спарених комірках різниця температур комірок повинна бути не більше $40^0$C и $20^0$C у інтервалі температур до $1100^0$C і понад $1100^0$C відповідно.

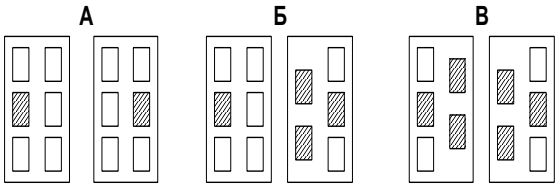
Якщо протягом 1 години температурний перекіс комірок залишається вище припустимого, на відстаючій комірці закриваються шибер і кришка, відключається подача газу й повітря.

Нагрівання відновляється після видачі зливків із суміжної комірки.

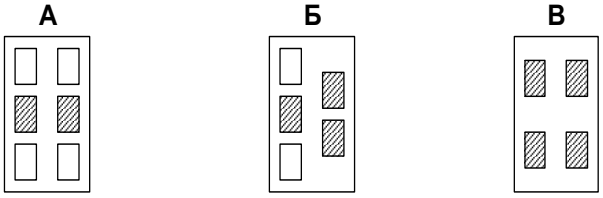
Зливки з комірки видаються по сигналу оператора поста з таким розрахунком, щоб зливки марки сталі S235JR не затримувалися на

прийомному й транспортуючому рольгангах стана,а затримка зливка не перевищувала 30 секунд.

Спарені комірки довжиною по 6600 мм




Одиночні комірки довжиною по 6600 мм




Одиночні комірки довжиною по 6900 мм

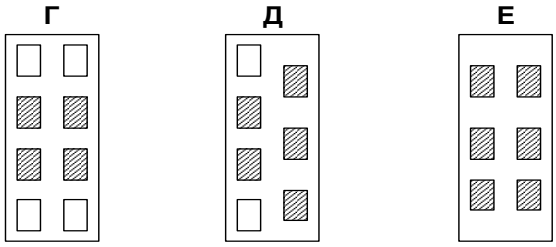



Рисунок 1.1 – Схема розміщення зливків марки сталі S235JR у нагрівальних колодязях обтискного цеху

У випадку утворення рванин при прокатці затримуваних зливків відповідальність лягає на безпосередніх винуватців затримки.

Подача в прокатку зливків виконується донною частиною вперед.

Перед прокаткою зливків старший оператор стана отримує від диспетчера цеху наряд із вказівкою:

а) номера плавки й марки сталі;

б) перетин зливка (найбільшого);

в) замовлених розмірів слябів і допусків по розмірах;

г) кількості зливків.

Прокатка зливків виконується відповідно до вимог режимів обтиснень. У випадку зниженої пластичності металу допускається збільшення числа проходів.

Для отримання плоских граней слябів обтиснення розкатів в останніх проходах рекомендується робити за наступною схемою:

- у передостанньому проході зазор між вертикальними валками встановлюється на 10-15 мм більше заданої ширини розкату, в останньому проході на задану ширину розкату й робиться додатково не менше трьох проходів, що пропрасовують.

- зазор між горизонтальними валками в останніх парному і непарному проходах встановлюється на 2-3мм більше заданої товщини розкату.

При подачі в прокатку недостатньо прогрітого зливка (що визначається по температурі кінця прокатки або по відключенню автомата при дотриманні встановленого режиму обтиснення) старший оператор повертає даний або наступний зливок до нагрівальних колодязів і дає сигнал попередження про подачу непрогрітого зливка. Прокатка непрогрітого зливка й інших затриманих зливків виконується після додаткової витримки їх в комірці при температурі томління протягом 1-2 годин.

У випадку виявлення перегріву (утворення характерних рванин при обтисненні зливка до товщини 450 мм) зливок вертається в колодязі й з іншими зливками плавки прохолоджується в комірці до температури 1100°С, витримується при цій температурі протягом 2-3 годин, після чого знову нагрівається до температури томління й видається в прокатку. При виявленні перевитрати (відшаруванні малих граней) зливок прокатується на задану товщину без обтиснення вертикальними валками.

При розвитку на поверхні розкату великих рванин прокатка зливків на товарні й передільні сляби здійснюється зі збільшенням остаточних розмірів розкату проти зазначених в наряді:

- по товщині на 3-5 мм;

- по ширині на 5-7 мм.

Для виключення можливості остигання при прокатці зливків марки сталі S235JR вода, що прохолоджує ролики рольгангів, перекривається повністю. Вода, що прохолоджує верхній горизонтальний валок вимикається повністю при обтисненні розкату до товщини 300-320 мм, а потім включається на 50%, у літній період - до 70%. У випадку одержання рванин на поверхні розкату товщиною більше 300 мм зливок прокатується повністю без води; при одержанні рванин при меншій товщині наступні зливки плавки прокатуються повністю без води.

Щоб уникнути перегріву валків при повному відключенні подачі води допускається прокатка підряд не більше 4 зливків, що чергується із прокаткою комірки вуглецевого металу. При частковому відключенні води дозволяється прокатувати підряд не більше 12 зливків.

Температура кінця прокатки зливків повинна бути не нижче 1000°С.

У процесі прокатки зливків для зменшення подстужування верхньої грані і щоб уникнути утворення рванин, а також для запобігання закочування окалини і сторонніх часток виконується кантування зливків на 180° при товщині 300-350 мм. При необхідності кантування повторюється.

Прокатка зливків виконується строго на задані розміри з допуском по ширині й товщині розкату не більше величини, зазначеної в наряді на прокатку за винятком випадків, отримання великих рванин.

## 1.2. Характеристика устаткування стана гарячої прокатки 1680

Напівбезперервний стан гарячої прокатки 1680 складається з двох груп клітей чорнових (4 клеті “кварто”), та чистових (6 клітей “кварто”), а також чорновий окаліноруйнивник “дуо”, який застосовується як робоча кліть, виконує обтиск до 25%. До чернової групи також відносяться кліті з вертикальними валками, обтиск в яких складає 15–30 мм.

В чорнову групу входять одна двухвалкова кліть (окаліноруйнівник), чотири кліті кварто (№ 1 – 4) і три вертикальних (№ 1 – 3), розташовані перед клітями кварто (№ 2 – 4).

Характеристика валків і головних двигунів привода в таблиці 1.3.

Відстань між клітями чорнової групи:

дуо – № 1 – 3,9м; № 1 – № 2 – 14,61м;

№ 2 – № 3 – 12,4м; № 3 – № 4 – 16,5м.

Відстань між чорновою і чистовою групами – 53,25м.

Таблиця 1.3 – Характеристика обладнання чорнової групи.

| № кліті | Потужність, кВт | Швидкість обертання вала двигуна, об/хв | Швидкість обертання валка, об/хв | Швидкість прокатки, м/с | Передаточне число редуктора | Валки | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Робочі | | Опорні | |
| | | | | | | $D_р$, мм | Матеріал | $D_{оп}$, мм | Матеріал |
| дуо | 2000 | 0-500 | 20,8 | 0-0,98 | 23,99 | 900-810 | 50ХН | – | – |
| №1 | 6300 | 428 | 22,2 | 1,02-1,09 | 19,26 | 940-880 | 9ХФ | 1320-1245 | 9ХФ |
| №2 | 4000 | 500 | 25,5 | 1,05-1,13 | 19,5 | 850-780 | 9ХФ | 1240-1170 | 9ХФ |
| №3 | 4000 | 0-600 | 0-59,1 | 0-1,83 | 10,15 | 593-580 | Відб.чавун | 1240-1170 | 9ХФ |
| №4 | 4000 | 0-600 | 0-81,5 | 0-2,53 | 7,36 | 593-580 | Відб.чавун | 1240-1170 | 9ХФ |

Чистова група складає з 6 однакових послідовно розташованих клітей кварто № 5 – 10 і окалиноруйнівника дуо, розташованого перед кліттю № 5. Характеристика привода клітей дана у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Характеристика привода чистових клітей

| № кліті | Число обертів двигуна, об/хв | Передаточне число редуктора | Число обертів валків, об/хв | Швидкість прокатки, м/с | Потужність двигуна, кВт |
|---|---|---|---|---|---|
| окалиноруйнівник | 250/750 | 19,55 | 12,9–38,6 | 0,425 – 1,27 | 365 |
| 5 | 270/500 | 7,24 | 37,4–69,0 | 1,17 – 1,82 | 5000/4000 |
| 6 | 270/500 | 4,67 | 57,8 – 90,0 | 1,80 – 2,82 | 5000/4000 |
| 7 | 270/500 | 2,75 | 98,2 – 153 | 3,08 – 4,83 | 5000/4000 |
| 8 | 270/500 | 2,0 | 135 – 210 | 4,25 – 6,60 | 5000/4000 |
| 9 | 270/500 | 1,56 | 173 – 320 | 5,44 – 9,71 | 5000/4000 |
| 10 | 270/500 | 1,41 | 191 – 354 | 6,0 – 11,1 | 5000/4000 |

Відстань між чистовими клітями – 5,84м.

До допоміжного обладнання відноситься: група нагрівальних методичних печей, верхній та нижній пічний рольганги, проміжно-перемотувальний пристрій "Coilbox" (технічні характеристики представлені в таблиці 1.5) встановлений в лінії стана на проміжному рольгангу між чорновою й чистовою групою клітей, ножиці с нижнім різом 25х1700мм для обрізування переднього кінця штаби (розкату) перед чистовою групою, проміжний рольганг, який завдовжки у довжину розката, та 9 моталок: з яких 3 моталки пристосовані для рулонів подвоєної маси; 3 моталки для одинарних рулонів конструктивних марок сталей; 3 моталки які пристосовані для змотування штаб з нержавіючих сталей.

За окалиноруйнивниками, а також за всіма клітями чорнової групи й першими клітями чистової групи розташовані пристрої для гідрозбиву окалини.

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики "Coilbox":

| Марки стали | Низьколеговані й високовуглецеві сталі, високоміцні низьколеговані сталі, нержавіючі сталі |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Товщина розкату | 18 - 36 мм |
| Ширина розкату | 850 - 1520 мм |
| Температура розкату | 950 - 1150 °С |
| Питома маса рулону, на од. ширини | 4.5 – 12.5 кг/мм |
| Маса рулону | 4.5 - 18.6 тон |
| Внутрішній діаметр рулону, що змотує на ППП | 600 – 650 мм |
| Максимальний зовнішній діаметр рулону, що змотує на ППП | 1600 мм |
| Заправна швидкість "Coilbox" | 2.0 – 4.5 м/сек |
| Максимальна робоча швидкість "Coilbox" | 4.5 м/сек |

Продовження таблиці 1.5

| 1 | 2 |
|---|---|
| Максимальна швидкість розмотування | 2.5 м/сек |
| Швидкість різа головної частини розкату на кінцевих ножиців | 2.0 м/сек |
| Швидкість зближення із чистовою кліттю № 5 | 2.0 м/сек і 1.5 м/сек |
| Мінімальний час паузи між розкатами перед чистовою кліттю № 5 | 5 секунд |

Привід валків чернового окалиноруйнивника, кліті №3, №4 виконується двигунами постійного струму, а інші кліті змінного струму, характеристика приводів представлена в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Основні параметри приводів [2]

| | Потужність, кВт | Напруга, В | Сила струму, А | n, об/мін | Тип двигуна |
|---|---|---|---|---|---|
| Дуо | 2000 | 750 | 2820 | 500 | МП 2000-450УЗ |
| 1 | 6300 | 6000 | 700 | 428 | СДПЗ 6300-428 УХЛ-4 |
| 2 | 4000 | 6000 | 445 | 500 | СДПЗ 4000-500 УХЛ-4 |
| 3 | 4000 | 750 | 5600 | 600 | МПС 4000-500 У3 |
| 4 | 4000 | 750 | 5600 | 600 | МПС 4000-500 У3 |
| 5-10 | 7000 | 3150 | 653/657 | 750 max 340/650 | AMZ 1600 FF 12 |
| FSB | 500 | 500 | 890 | 315/1000 | П-156-5К УХЛ-4 |

Система противигиба робочих валків клітей №8 – 10 застосована для регулювання форм та профілю гарячекатаних штаб шляхом оперативного змінювання активної твірної валків і складає з чотирьох гідростанцій з насосами, гідродоміратов трубопроводом та іншого обладнання. Зусилля противигиба у кожній кліті створюються чотирма гідродоміратами, установленими в нижніх подушках робочих валків.

Валки листових станів гарячої прокатки за призначенням діляться на дві групи: робочі та опорні.

Діаметр валка вибирають за результатами розрахунків, при яких враховується сортамент прокату, механічні властивості матеріалу, вимоги експлуатації, максимальні зусилля, обтискання та конструкція стану.

Довжина бочки робочих валків залежить від ширини штаб, листів, стрічки, що прокатується.

В валках з підшипниками ковзання шийки валків, як правило, гладкі. Для зниження тиску на підшипники та підвищення міцності шийок валків, які працюють на підшипниках рідинного тертя, шийки мають максимальні діаметри, а місця переходу шийки в бочку – закругленні.

Робочі валки чотирьохвалкових станів гарячої прокатки, як правило, виготовляють з відбіленого чавуну у виконані ЛПХНд – 63 й ЛПЧНд – 71.

Опорні валки для станів холодної прокатки виготовляються із сталі марок 9Х2, 9ХФ.

Вісь складальних (бандажованих) опорних валків малих та середніх розмірів виготовляються із сталей марок 40ХНМА, 55Х, 50ХГ, 40ХН2МА; для виготовлення осей крупних опорних валків важконавантажених станів – 45ХНВ та 45ХНМ.

Бандажі складальних опорних валків виготовляють із сталі марок 9Х, 9ХФ.

Станина робочої кліті – найвідповідальніша деталь прокатного стана. В ній монтуються подушки валків стана, також інші прилади та механізми, які

забезпечують задану точність прокатки та продуктивність стана. Всі зусилля прокатки сприймаються станинами.

Гайки натискних гвинтів – деталі, які найшвидше зношуються. Їх виготовлюють з литої бронзи марок БрАЖ9-4 та БрАЖМц10-3-1,5.

### 1.3. Технологічний процес гарячої прокатки штаб

На БШС 1680 в якості вихідної заготівки використовують катані сляби вуглецевих і низьковуглецевих марок сталей. Для прокату штаби 2×1250мм подвоєної маси в проекті використовуємо сляб 140×1250×8800мм.

Сляби надходять з обтискного цеху по нижньому пічному рольганзі к кліті дуо й далі к робочім клітям кварто №1, 2, 3 і 4, де обтискаються.

В чорновій групі стана розкат знаходиться тільки в одній кліті, а в чистової групі – в усіх клітях одночасно.

Чорновий та чистовий окалінoруйнивники «взламують» окаліну, яка потім видаляється водою потужного натиску. Чорновий окалінoруйнівник використовується так, як і робоча кліть, обтиснення до 25%.

Кліті з вертикальними валками повинні забезпечить зняття уширинння отримане при деформації розкату горизонтальними валками чорнової групи. Обтиснення у вертикальних валках складає 15 – 30мм.

Сумарне обтиснення у клітях чорнової групи складає 70 – 90% від всього обтиснення, необхідного для отримання штаб потрібного розміру, обтиснення по клітям чорнової групи приведені в таблиці 1.7.

За окалінoруйнівником, а також за всіма клітями чорнової групи і першими клітями чистової групи розташовані пристрої гідрозбиву окалини, де на верхню та нижню поверхні приходящого розкату крізь плоскі сопла подаються струї води під натиском не меньш 10 – 15МПа.

Таблиця 1.7 - Допустимі максимальні обтиснення по клітях чернової групи в залежності від ширини сляба [2]

| Кліть | Максимальні обтиснення при прокатці вуглецевих і низьколегованих сталей, % | |
|---|---|---|
| | Ширина сляба до 1250мм | Ширина сляба більш 1250мм |
| Дуо | 25 | 20 |
| №1 | 37 | 35 |
| №2 | 40 | 37 |
| №3 | 40 | 37 |
| №4 | 40 | 37 |

Температура розкатів за 4-ю кліттю повинна складати від 1040 до 1120$^{O}$С для штаб шириною від 1000 до 1150мм і від 1060 до 1120$^{O}$С для штаб шириною від 1160 до 1520мм, а різниця температур між розкатами при прокатці одного профілю і при одній і тій же наладці чорнової групи клітей не повинні бути більш 20$^{O}$С.

Розкат з чорнової групи поступає на проміжно-перемотувальний пристрій "Coilbox" (рисунок 1.1), де змотується в рулон та при необхідності за допомогою індукційного нагріву нагрівається до необхідної температури.

Прогрітий рулон заднім кінцем подається до летучих ножиць для обрізки заднього та переднього кінців штаби. Обов’язкової обрізки переднього кінця розкату підлягають розкати, які катаються в чистової групі на штаби товщиною від 2 до 3мм. При поставі метала на експорт у рулонах передній кінець обов’язково обрізається, незалежно від кінцевої товщини штаби. Обов’язкова обрізка заднього кінця проводиться на всіх розкатах. Потім захоплюється валками чистового окалиноруйнивника та першою кліттю чистової групи і далі усіма іншими клітями.

При розподілі обтиснень у клітях чистової групи, старший вальцівник групи, чи стана, слідкує за тим, щоб навантаження на двигуни не перевищували гранично допускові.

Для зменшення зносу валків, зниження зусилля деформації та енергозатрат застосовується технологічна змазка. Вона дозволяє підвищити стійкість валків до 1,5 – 2 разів, знизити енергозатрати і зусилля деформації на 5 – 15%. Витрати змазки складає 10 – 20г/т.

Оскільки у чистовій групі штаба знаходиться одночасно в усіх клітях стана, то для забезпечення нормального процесу прокатки повинно бути забезпечено рівність секундних об'ємів по клітях, тобто:

$V_5 \cdot h_5 \cdot b_5 = V_6 \cdot h_6 \cdot b_6 = \ldots = V_{10} \cdot h_{10} \cdot b_{10}$,

де V – швидкість штаби після кліті;

h – товщина штаби після кліті;

b – ширина штаби після кліті, b = const.

Так як ширина штаби практично не змінюється, то рівність секундних об'ємів буде мати вигляд наступним образом:

$V_5 \cdot h_5 = V_6 \cdot h_6 = \ldots = V_{10} \cdot h_{10}$

Швидкість прокатки у клітях чистової групи повинні забезпечить в умовах заданих величин обтиснень необхідні температури кінця прокатки для даного профілю і даної групи марок сталі.

Сумарне обтиснення у клітях чистової групи складає 10 – 30% від всього обтиснення.

Для забезпечення якісного профілю, проводиться обов'язково перевалка робочих і опорних валків клітей стана, а прокатка проводиться сурово по ширинам, тобто після перевалки прокатуються спочатку широкі штаби, потім ширина штаби поступово зменшується і перед наступною перевалкою прокатуються найбільш вузькі штаби.

Контроль товщини та ширини прокатуємих штаб здійснюється стаціонарним товщиновимірювачем і шириновимірювачем.

Необхідна температура змотки штаби забезпечується діянням душуючих пристроїв на відвідному рольгангу.

Перед змоткою у рулони, штабу охолоджують до певної температури в залежності від призначення ($500 \div 740^0$C).

Змотка штаб у рулони повинна забезпечити щільне прилягання витків рулона один к одному з телескопічністю у межі стандартів, технічних умов і стандартів підприємств.

Після змотки штаби, рулон виштовховується штовхателем на ріг кантователя і далі кантується на прийомну тележку.

Рулон на прийомній тележкі транспортується до конвеєра, де за допомогою приймача рулонів установлюється на ланцюг конвеєра.

Рулон по транспортуємому конвеєрі рухається до підйомно-поворотного стола №1, де підіймається на висоту 550мм і в залежності від призначення рулона повертається на $90^{O}$ (вправо чи вліво).

Після підйомно-поворотного стола №1, рулони призначені для подальшого переділу у ЦГПТЛ чи ЦХП – 3, транспортуються по поворотному конвеєру і поступають на транспортуючий конвеєр у прольот склада рулонів.

## 1.4. Аналіз устаткування, технології і якості продукції, що випускається

По сучасним міркам обладнання безперервного тонколистового стану гарячої прокатки 1680 застаріле. Прокатуєма продукція на стані обмежена по своєму сортаменту. Застаріле обладнання не дозволяє катати штаби менш ніж 1,5мм, а також тонкі штаби подвоєної маси. Це полягає у тому що над тонкі розкати і тонкі розкати подвоєної маси не вміщаються на проміжному рольгангу між чорновими та чистовими клітями. При виході з останньої кліті чорнової групи і проходячи проміжний рольганг розкат втрачає температуру необхідну для прокату. Із-за низької температури з’являється можливість утворення температурного клину по всій довжині розкату, що в свою чергу впливає на якість випускаємої продукції. Чистові кліті по своїм характеристикам мають дуже низькі граничні межі.

Товщина, ширина, форма та якість поверхні гарячекатаних штаб повинні відповідати вимогам ГОСТ 19903-74, ГОСТ 4041-71, ГОСТ 16523-97, ГОСТ 14637-89, а також технічним умовам і стандартам підприємства.

При поставці прокату по ГОСТ 16523-97 на поверхні гарячекатаного проката не повинно бути плен, порізів, пузирів, закатав, тріщин, вкатаних інородних і металевих часток, крізних розривів, вкатаної окаліни, перетравов, недотравов.

При поставці проката по ГОСТ 14637-89 на поверхні проката не повинно бути рванин, крізних розривів, тріщин, плен, вкатаної окаліни. Допускаються дефекти (рябизна, риски та інші місцеві дефекти), не виводячи прокат за граничні розміри.

Фактичне граничне відхилення по ширині штаб не повинно перевищувати плюс 20мм при ширині штаби до 1000мм (включно) і плюс 30мм при ширині штаби понад 1000мм.

Для гарячекатаних штаб, призначених для подальшого переділу на холоднокатаний лист, допускові відхилення не повинні перевищувати плюс 20мм.

Відхилення від плоскості штаб товщина від 2,0 до 3,9мм не повинно перевищувати 15мм, а для штаб товщиною від 4,0 до 9,0мм – 12мм на довжини 1м сталі.

Телескопічність рулонів не повинна перевищувати 100мм для штаб товщиною 2,0 – 2,5мм і 70мм для штаб товщиною 2,6 – 9,0мм.

Поперечна різнотовщініcть штаб, призначених для поставки на експорт в рулонах, не повинна перевищувати 0,15мм.

Поперечна різнотовщініcть штаб, призначених для подальшого переділу на холоднокатаний лист, не повинна перевищувати 0,10мм.

Різнотовщініcть кромок, вимірювана на відстані 5 і 40мм від кромки, не повинна перевищувати 0,10мм.

Різниця товщини між лівою і правою кромкою, вимірювана на відстані 40мм від кромки, не повинна перевищувати 0,06мм.

Прокатка штаб, призначених для виготовлення гарячекатаного травленого листа в ЦХП – 1 і ЦХП – 3 проводиться тільки в плюсовому полі допусків ГОСТ 19903-74.

Гарячекатані штаби, призначені для подальшого переділу на холоднокатаний лист, повинні задовольняти СТП 226-23-2000.

Маркіровка гарячекатаних штаб в рулонах повинна відповідати стандарту підприємства, а для досвідчених партій метала – окремим розпорядженням технічного директора комбінату.

Інші технічні вимоги повинні відповідати стандартам і технічним умовам на конкретні види прокату.

# 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 2.1. Обґрунтування доцільності пропонованих технічних рішень

На сьогоднішній день на сучасних станах гарячої прокатки прокатають штаби товщиною 2 мм і менш із слябів масою до 30-40 тон. На безперервному тонколистовому стані гарячої прокатки 1680 прокатають штаби із слябів масою до 16 тон, а для тонких штаб товщиною менш 3 мм сляб розрізають на два сляби, що знижує продуктивність стану. Прокатувати штаби меншої товщини на стані 1680 неможливо тому, що розкат за чорновою групою клітей при прокатці штаб товщиною менш 3 мм не вміщається на проміжному рольгангу.

Тому в даній кваліфікаційній роботі пропонується використовувати проміжно-перемотувальний пристрій "Coilbox", який вже встановлений між чорновою й чистовою групами клітей на безперервному широкоштабовому стані 1680 де за допомогою індукційного нагріву нагрівається до температури 1150$^{o}$C. При цьому, в "Coilbox" штаба змотується в рулон, нагрівається рівномірно по всій довжині до заданої температури за допомогою індукційних котушок і заднім кінцем розкату задається в чистову групу клітей. Нагрівання металу зменшує навантаження на чистові кліті, а завдання смуги заднім кінцем дозволить поліпшити структурні якості металу. Використання проміжно-перемотувального пристрою дозволить прокатувати штаби на безперервному стані гарячої прокатки 1680 товщиною менш 3 мм без розділення слябів на дві частини. Тим самим значно підвищиться продуктивність на стані тонких штаб масою до 16 тон.

## 2.2. Розробка технології гарячої прокатки штаби 1,8х1200мм на стані гарячої прокатки 1680

У кваліфікаційній роботі пропонується технологія прокатки штаб товщиною 1,8х1200мм подвоєної маси, яка по своїм властивостям практично ні чим не відрізняється від прокату штаб іншого розміру.

Сляб транзитною прокаткою потрапляє у чорнову групу клітей де обтискається до потрібної товщини. Після останньої чорнової кліті розкат змотується в проміжно-перемотувальному пристрої "Coilbox", де за допомогою індукційного нагріву нагрівається до температури $1150^0$С і видається заднім кінцем розкату на ножиці з нижнім різом. Потім штаба прокатується у чистовій групі клітей з кінцевою температурою $900^0$С, охолоджується і змотується в рулон за допомогою моталок при температурі 500-$600^0$С.

Для режимів обтиснень в чорновій та чистовій групах пропонується методика розрахунку з наступними вимогами.

Вимоги, пред’явлені к раціональному режиму обтиснень чернових груп клітей:

а) сумарний обтиск у чорновій групі повинен бути максимальним, з метою використання пластичних властивостей металу: температура металу на виході з чорнової групи ~ 1070 … $1120^0$С;

б) сила і моменти при прокатці, потужність яку розвиває двигун, не повинні перевищувати допустиме;

в) з метою спрощення перебудови чистових клітей діапазон товщини розкатів після чорнової групи для усього сортаменту стана повинен бути мінімальний.

Вимоги, пред’явлені к раціональному режиму обтиснень чистових груп клітей:

а) продуктивність чистової групи повинно бути максимальною при прокатці даного сорторозміру;

б) прокатуємий метал по розмірам, профілю поперечного перерізу і форми, якість поверхні, металографічній структурі і механічним властивостям повинен задовольняти вимоги якості;

в) сила прокатки, моменти і потужності двигунів повинні задовольняти умовам надійної роботи устаткування.

## 2.3. Розробка режиму деформації при виробництві штаби 1,8х1200 мм

Вихідні данні: Розрахувати режим обтиснень при прокатці штаби з розмірами 1,8х1200мм зі сляба з розмірами 140х1250х8800мм. Марка сталі S235JR, температура нагріву сляба $1250^0$С, швидкість прокатки 8,5 м/с.

Визначення геометричних параметрів процесу прокатки:

абсолютний обтиск

$$\Delta h_{дуо} = \frac{h_0 \varepsilon}{100} \qquad (2.1)$$

товщина після кліті

$$h_{дуо} = h_0 - \Delta h_{дуо} \qquad (2.2)$$

кут захвату

$$\alpha_{дуо} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D_{p\,min}}\right) \qquad (2.3)$$

довжина дуги захвату

$$L_Д = \sqrt{R_P \Delta h_{дуо}} \qquad (2.4)$$

Вибір обтиснень по клітям чорнової групи.

Приймаємо, що у чорновій групі виробляється ≈85% сумарного обтиснення.

При заданих умовах сумарне обтиснення складає

$\sum\Delta h = 140 - 2 = 138$мм

Сумарне обтиснення в чорновій групі

$\Delta h_{\sum черн} = 140 - 10{,}28 = 129{,}72$мм

По клітям чорнової групи обтиснення розподіляються наступним чином, таблиця 2.1:

Таблиця 2.1 – Розподіл обтиску в чорновій групі

| Номер кліті | дуо | № 1 | № 2 | № 3 | № 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| ε, % | 20 | 32 | 37 | 37 | 34 |

Визначаємо геометричні параметри процесу прокатки.

Для кліті дуо:

абсолютний обтиск

$$\Delta h_{дуо} = \frac{h_0 \varepsilon}{100} = \frac{140 \cdot 20}{100} = 28мм;$$

товщина після кліті

$$h_{дуо} = h_0 - \Delta h_{дуо} = 140 - 28 = 112мм;$$

кут захвату

$$\alpha_{дуо} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D_{p\min}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{28}{810}\right) = 15{,}12^0 \ \alpha_{дуо} = 0{,}264 \text{ рад}$$

$\alpha_1 := \text{acos}\left(1 - \frac{\Delta h_1}{D_1}\right) \cdot 57.3$ $\quad \alpha_1 = 0{,}286$ рад

$\alpha_2 := \text{acos}\left(1 - \frac{\Delta h_2}{D_2}\right) \cdot 57.3$ $\quad \alpha_2 = 0{,}27$ рад

$\alpha_3 := \text{acos}\left(1 - \frac{\Delta h_3}{D_3}\right) \cdot 57.3$ $\quad \alpha_3 = 0{,}25$ рад

$\alpha_4 := \text{acos}\left(1 - \frac{\Delta h_4}{D_4}\right) \cdot 57.3$ $\quad \alpha_4 = 0{,}188$ рад

довжина дуги захвату

$$L_{Д0} = \sqrt{R_P \Delta h_{дуо}} = \sqrt{405 \cdot 28} = 106{,}5мм$$

$ld_1 := \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1}$ $\quad l_{d1} = 125{,}6$

$ld_2 := \sqrt{R_2 \cdot \Delta h_2}$ $\quad l_{d2} = 104{,}9$

$ld_3 := \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3}$ $\quad l_{d3} = 71{,}8$

$ld_4 := \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4}$ $\quad l_{d4} = 54{,}6$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 1 – 4. Данні результатів заносимо в таблицю 2.2

Таблиця 2.2 – Геометричні параметри процесу прокатки в чорновій групі

| № кліті | Δh, мм | h, мм | α | $L_д$, мм |
|---|---|---|---|---|
| дуо | 28 | 112 | 0,264 | 106,5 |
| 1 | 35,8 | 76,2 | 0,286 | 125,6 |
| 2 | 28,2 | 48,0 | 0,27 | 104,9 |
| 3 | 17,76 | 30,24 | 0,25 | 71,8 |
| 4 | 10,28 | 19,96 | 0,188 | 54,6 |

## 2.4. Розрахунок енергосилових параметрів

Визначення допустимих сил та моментів прокатки.

Допустимі сили по міцності бочки і шийки опірних валків

Кліть 1 $$[P]_б = \frac{0{,}8 \cdot D^3_{оп.min} \cdot [\sigma]}{2a - L_{оп.min}} = \frac{0{,}8 \cdot 1245^3 \cdot 120}{2 \cdot 5060 - 2440} = 24МН$$

$$[P]_ш = \frac{0{,}4 \cdot d^3_{ш.оп} \cdot [\sigma]}{l_{ш.оп}} = \frac{0{,}4 \cdot 750^3 \cdot 120}{1310} = 16МН$$

$$[P]_{ш.р.1} = \frac{0{,}4 \cdot d^3_ш \cdot [\tau]}{\sqrt{R_р \Delta h}} = \frac{0{,}4 \cdot 660^3 \cdot 80}{\sqrt{440 \cdot 35{,}8}} = 73МН$$

Кліть 2 $$[P]_б = \frac{0{,}8 \cdot D^3_{оп.min} \cdot [\sigma]}{2a - L_{оп.min}} = 22МН$$

$$[P]_ш = \frac{0{,}4 \cdot d^3_{ш.оп} \cdot [\sigma]}{l_{ш.оп}} = 9.98МН$$

Кліть 3 $$[P]_б = \frac{0{,}8 \cdot D^3_{оп.min} \cdot [\sigma]}{2a - L_{оп.min}} = 22МН$$

$$[P]_ш = \frac{0{,}4 \cdot d^3_{ш.оп} \cdot [\sigma]}{l_{ш.оп}} = 9.98МН$$

Кліть 4 $$[P]_б = \frac{0{,}8 \cdot D^3_{оп.min} \cdot [\sigma]}{2a - L_{оп.min}} = 22МН$$

$$[P]_{ш} = \frac{0{,}4 \cdot d^{3}_{ш.оп} \cdot [\sigma]}{l_{ш.оп}} = 9.398 МН$$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 2 – 4.

Данні результатів заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку допустимих сил по міцності бочки і шийки опірних валків

| № кліті | $[P]_{б}$, МН | $[P]_{ш}$, МН | $[P]_{ш.р}$, МН |
|---|---|---|---|
| дуо | – | – | 71 |
| 1 | 24 | 16 | 73 |
| 2 | 22 | 9,98 | 34 |
| 3 | 22 | 9,98 | 28 |
| 4 | 22 | 9,398 | 36 |

Розрахунок температури розкату.

Визначаємо машинний час

ДУО $\tau_{м.} = \frac{l_{дуо}}{V_{дуо}} = \frac{11{,}0}{0{,}95} = 11{,}6с$

Кліть 1 $\tau_{м.} = \frac{l_1}{V_1} = 15.4с$

Кліть 2 $\tau_{м.} = \frac{l_2}{V_2} = 23{,}3с$

Кліть 3 $\tau_{м.} = \frac{l_3}{V_3} = 27.1с$

Кліть 4 $\tau_{м.} = \frac{l_4}{V_4} = 30.8с$

Визначаємо час транспортування

ДУО $\tau_{тр.} = \frac{L_{дуо} - l_{дуо}}{V_{дуо}} = \frac{74{,}25 - 11{,}0}{2} = 31{,}62с$

Кліть 1 $\tau_{тр.} = \frac{L_1 - l_1}{V_1} = 8{,}76с$

Кліть 2 $\tau_{тр.} = \frac{L_2 - l_2}{V_2} = 7.85с$

Кліть 3 $\tau_{тр.} = \frac{L_3 - l_3}{V_3} = 14.15c$

Кліть 4 $\tau_{тр.} = \frac{L_4 - l_4}{V_4} = 32.3c$

Таблиця 2.4 – Швидкість рольгангів між клітями[2]

| Кліті | дуо – №1 | №1 – №2 | №2 – №3 | №3 – №4 |
|---|---|---|---|---|
| $V_р$, м/с | 1,4 | 1,4 | 2,0 | 1,4 |

Температура розкату при прокатці

ДУО $T_{дуо} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_0}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{\tau_{дуо}}{h_0}}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1513}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{43{,}22}{140}}} = 1484К$

Кліть 1 $T_1 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_{дуо}}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{\tau_1}{h_{дуо}}}} = 1465K$

Кліть 2 $T_2 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_1}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{\tau_2}{h_1}}} = 1431K$

Кліть 3 $T_3 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_2}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{\tau_3}{h_2}}} = 11369K$

Кліть 4 $T_4 = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_3}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{\tau_4}{h_3}}} = 1254K$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 1 – 4.

Данні результатів заносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5. – Результати розрахунку температури розкату, машинного часу та часу транспортування

| № кліті | $\tau_м$, с | $\tau_{тр}$, с | $l_р$, м | $T_р$, К |
|---|---|---|---|---|
| дуо | 11,6 | 31,62 | 11,0 | 1484 |
| 1 | 15,4 | 8,76 | 16,17 | 1465 |
| 2 | 23,3 | 7,85 | 25,6 | 1431 |
| 3 | 27,1 | 14,15 | 40,7 | 1369 |
| 4 | 30,8 | 32,3 | 61,7 | 1254 |

Розрахунок сили прокатки

Середнє контактне тиснення у клітях чорнової групи розраховуємо по формулі М. Я. Бровмана:

Напруга текучості з використанням термомеханічних коефіцієнтів:

$$\sigma_T = \sigma_{TO} k_t k_\varepsilon k_u$$

$\sigma_{TO}$ = 84 МПа

$$k_{\varepsilon.дуо} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{\frac{\Delta h_{дуо}}{h_0}} = 0{,}82 + 0{,}82 \cdot \sqrt{\frac{28}{140}} = 0{,}984$$

$$U_{ср.дуо} = \frac{V_{дуо} \cdot h_{дуо}}{h_0 \cdot l_{д.дуо}} = \frac{1{,}042 \cdot 28}{140 \cdot 106{,}5} \cdot 1030 = 2{,}01 c^{-1}$$

$$k_{U.дуо} = 0{,}8 + 0{,}065\sqrt{U_{дуо}} = 0{,}8 + 0{,}065 \cdot \sqrt{2{,}01} = 0{,}89$$

$$k_{t.дуо} = 0{,}57 + 0{,}0045\left(1200 - t^o_{дуо}\right)\sqrt{\frac{1200 - t^o_{дуо}}{t^o_{дуо}}} = 0{,}57 + 0{,}0045(1200 - 1211)\sqrt{\frac{1200 - 1211}{1211}} = 0{,}574$$

$$\sigma_{T.дуо} = \sigma_{TO} k_{t.дуо} k_{\varepsilon.дуо} k_{U.дуо} = 84 \cdot 0{,}574 \cdot 0{,}984 \cdot 0{,}89 = 42{,}2 МПа$$

Середнє контактне тиснення

ДУО $p_{ср.} = \frac{1{,}15 \cdot \sigma_T}{2}\left(0{,}815 + \frac{1}{0{,}815}\right) = \frac{1{,}15 \cdot 42{,}2}{2}\left(0{,}815 + \frac{1}{0{,}815}\right) = 49{,}5 МПа$

Кліть 1 $p_{ср.} = \frac{1{,}15 \cdot \sigma_T}{2}\left(0{,}815 + \frac{1}{0{,}815}\right) = 55{,}2 МПа$

Кліть 2 $p_{ср.} = \frac{1{,}15 \cdot \sigma_T}{2}\left(0{,}815 + \frac{1}{0{,}815}\right) = 61.7 МПа$

Кліть 3 $p_{ср.} = \frac{1{,}15 \cdot \sigma_T}{2}\left(0{,}815 + \frac{1}{0{,}815}\right) = 77.8 МПа$

Кліть 4 $p_{ср.} = \frac{1{,}15 \cdot \sigma_T}{2}\left(0{,}815 + \frac{1}{0{,}815}\right) = 118.2 МПа$

Сила прокатки

ДУО $P_{дуо} = p_{ср.дуо} \cdot l_{д.дуо} \cdot b = 49{,}5 \cdot 0{,}1065 \cdot 1{,}25 = 6{,}59 МН$

Кліть 1 $P_1 = p_{ср.1} \cdot l_{д.1} \cdot b = 8.66 МН$

Кліть 2 $P_2 = p_{ср.2} \cdot l_{д.2} \cdot b = 8.09 МН$

Кліть 3 $P_3 = p_{ср.3} \cdot l_{д.3} \cdot b = 6.98 МН$

Кліть 4 $P_4 = p_{ср.4} \cdot l_{д.4} \cdot b = 8.07 МН$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 1 – 4.

Данні результатів заносимо в таблицю 2.7

Розрахунок крутячих моментів

$$M_{дв} = \frac{P}{i\eta_{\Sigma}}\left(2a + \mu d_{ш}\right)$$

$$\psi_{дуо} = 0{,}498 - 0{,}0283\frac{l_{д.дуо}}{h_{ср.дуо}} = 0{,}498 - 0{,}0283 \cdot 0{,}845 = 0{,}474$$

$$a_{дуо} = \psi_{дуо} \cdot l_{д.дуо} = 0{,}474 \cdot 106{,}5 = 50{,}5 мм$$

ДУО $M_{хх.дуо} = 0{,}06 \cdot 32 = 1{,}92 кН \cdot м = 0{,}192 т \cdot м$

Кліть 1 $M_{хх.1} = 7{,}2 кН \cdot м$

Кліть 2 $M_{хх.2} = 4{,}2 кН \cdot м$

Кліть 3 $M_{хх.3} = 4{,}2 кН \cdot м$

Кліть 4 $M_{хх.4} = 4{,}2 кН \cdot м$

ДУО $M_{дв.дуо} = \frac{723}{23{,}99 \cdot 0{,}82} \cdot \left(2 \cdot 0{,}0505 + 0{,}002\right) + 0{,}192 = 36 кН \cdot м$

Кліть 1 $M_{дв.1} = 81.7 кН \cdot м$

Кліть 2 $M_{дв.2} = 52.1 кН \cdot м$

Кліть 3 $M_{дв.3} = 57.7 кН \cdot м$

Кліть 4 $M_{дв.4} = 68.1 кН \cdot м$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 1 – 4.

Данні результатів заносимо в підсумкову таблицю 2.7

Розрахунок потужності двигуна:

Потужність, витрачена двигуном при прокатці

ДУО $N_{дв.дуо} = \frac{M_{дв.дуо} \cdot n_{дв.дуо}}{\eta_{дв.дуо}} \cdot \frac{\pi}{30} = \frac{36 \cdot 500}{0{,}952} \cdot \frac{3{,}14}{30} = 1979 кВт$

Кліть 1 $N_{дв.1} = \frac{M_{дв.1} \cdot n_{дв.1}}{\eta_{дв.1}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1890 кВт$

Кліть 2 $N_{дв.2} = \frac{M_{дв.2} \cdot n_{дв.2}}{\eta_{дв.2}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1456 кВт$

Кліть 3 $N_{дв.3} = \frac{M_{дв.3} \cdot n_{дв.3}}{\eta_{дв.3}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1935 кВт$

Кліть 4 $N_{дв.4} = \frac{M_{дв.4} \cdot n_{дв.4}}{\eta_{дв.4}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2284 кВт$

ДУО $N_{хх.дуо} = 0{,}06 \cdot N_{дуо} = 0{,}06 \cdot 1979 = 118 кВт$

ДУО $N_{екв.дуо} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.дуо}\tau_v + N^2_{хх.дуо}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = \sqrt{\frac{1979^2 \cdot 5{,}35 + 118^2 \cdot 39{,}35}{45{,}2}} = 690 кВт$

Кліть 1 $N_{екв.1} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.1}\tau_v + N^2_{хх.1}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 688 кВт$

Кліть 2 $N_{екв.2} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.2}\tau_v + N^2_{хх.2}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 530 кВт$

Кліть 3 $N_{екв.3} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.3}\tau_v + N^2_{хх.3}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 704 кВт$

Кліть 4 $N_{екв.4} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.4}\tau_v + N^2_{хх.4}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 831 кВт$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 1 – 4.

Данні результатів заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку енергосилових параметрів та потужності двигуна

| № кліті | $\sigma_т$, МПа | $p_{ср}$, МПа | Р, МН | $M_{хх}$, кН·м | $M_{дв}$, кН·м | $N_{дв}$, кВт | $N_{екв}$, кВт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| дуо | 42,2 | 49,5 | 6,59 | 1,92 | 36 | 1979 | 690 |
| 1 | 47,04 | 55,2 | 8,66 | 7,2 | 81,7 | 1890 | 688 |
| 2 | 52,6 | 61,7 | 8,09 | 4,2 | 52,1 | 1456 | 530 |
| 3 | 66,3 | 77,8 | 6,98 | 4,2 | 57,7 | 1935 | 704 |
| 4 | 10,7 | 118,2 | 8,07 | 4,2 | 68,1 | 2284 | 831 |

Вибір обтиску в чистових клітях.

Обтиск в чистовому окаліноруйнівником вибирається у межах (0,5…1,0) мм.

Приймаємо на основі практичних даних слідуючи розподіли обтиснень по клітям, таблиця 2.7.

Визначаємо кут захоплення, град

$$\alpha_5 := \sqrt{\frac{\Delta h_5}{Rp}}\ 57.3 \qquad \alpha_5 = 9.45$$

$$\alpha_6 := \sqrt{\frac{\Delta h_6}{Rp}}\ 57.3 \qquad \alpha_6 = 6.9$$

$$\alpha_7 := \sqrt{\frac{\Delta h_7}{Rp}}\ 57.3 \qquad \alpha_7 = 4.9$$

$$\alpha_8 := \sqrt{\frac{\Delta h_8}{Rp}}\ 57.3 \qquad \alpha_8 = 3.514$$

$$\alpha_9 := \sqrt{\frac{\Delta h_9}{Rp}}\ 57.3 \qquad \alpha_9 = 2.8$$

$$\alpha_{10} := \sqrt{\frac{\Delta h_{10}}{Rp}}\ 57.3 \qquad \alpha_{10} = 2.7$$

Визначаємо довжину осередку деформації, мм

$$ld_5 := \sqrt{Rp \cdot \Delta h_5} \qquad ld_5 = 49.5$$

$$ld_6 := \sqrt{Rp \cdot \Delta h_6} \qquad ld_6 = 35.9$$

$ld_7 := \sqrt{Rp \cdot \Delta h_7}$ $\quad ld_7 = 25.7$

$ld_8 := \sqrt{Rp \cdot \Delta h_8}$ $\quad ld_8 = 19$

$ld_9 := \sqrt{Rp \cdot \Delta h_9}$ $\quad ld_9 = 14.5$

$ld_{10} := \sqrt{Rp \cdot \Delta h_{10}}$ $\quad ld_{10} = 9.5$

Таблиця 2.7 – Розподіл обтисків та геометричні параметри процесу прокатки чистової групи

| Номер кліті | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Відносний обтиск, % | 43 | 40 | 35 | 28 | 23 | 13 |
| Абсолютний обтиск, мм | 8,16 | 4,3 | 2,2 | 1,2 | 0,7 | 0,3 |
| Початкова товщина, мм | 18,96 | 10,8 | 6,5 | 4,2 | 3,0 | 2,3 |
| Кінцева товщина, мм | 10,8 | 6,5 | 4,2 | 3,0 | 2,3 | 1,8 |
| Випередження | 12 | 9 | 8 | 6 | 4 | 2 |

2.4.3 Розрахунок енергосилових параметрів чистової групи

Вибір швидкісного режиму прокатки.

При швидкості прокатки в кліті №10 8,5 м/с, швидкість прокатки в чистовому окалиноруйнивникові і кліті №5 будуть рівні:

$$V_{ок} = \frac{h_{10} \cdot V_{10}}{h_{ок}} = \frac{2 \cdot 8{,}5}{18{,}96} = 0{,}9 \text{м/с}$$

$$V_5 = \frac{h_{10} \cdot V_{10}}{h_5} = \frac{2 \cdot 8{,}5}{10{,}8} = 1{,}6 \text{м/с}$$

Окружна швидкість валків

$$V_{В.ок} = \frac{h_{10} \cdot V_{10}}{h_{ок} \cdot (1 + S_{оп})} = \frac{2 \cdot 8{,}5}{18{,}96 \cdot (1 + 0{,}02)} = 0{,}88 \text{м/с}$$

$$V_{В.5} = \frac{h_{10} \cdot V_{10}}{h_5 \cdot (1 + S_5)} = \frac{2 \cdot 8{,}5}{10{,}8 \cdot (1 + 0{,}12)} = 1{,}4 \text{м/с}$$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 6 – 10.

Данні результатів заносимо в таблицю 2.8

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку швидкості прокатки та окружної швидкості валків

| № кліті | V, м/с | $V_В$, м/с |
|---|---|---|
| 5 | 1,6 | 1,4 |
| 6 | 2,6 | 2,4 |
| 7 | 4,0 | 3,7 |
| 8 | 5,6 | 5,3 |
| 9 | 7,4 | 7,1 |
| 10 | 8,5 | 8,3 |

Розрахунок температурного режиму прокатки

Температура розкату після окалиноруйнівника також розраховується по формулі:

$$T_{ок} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_4}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{\tau_м + \tau_{тр}}{h_4}}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1423}{100}\right)^3} + 0{,}056\frac{72{,}2 + 3{,}38}{19{,}96}}} = 1213К$$

$$l_{ок} = \frac{h_{сл}}{h_{ок}} l_{сл} = \frac{140}{18{,}96} \cdot 8800 = 65м$$

$$\tau_{м.ок} = \frac{l_{ок}}{V_{ок}} = \frac{65}{0{,}9} = 72{,}2с$$

$$\tau_{тр} = \frac{L_р - l_4}{V_р} = \frac{53{,}25 - 61{,}7}{2{,}5} = 3{,}8с$$

Аналогічні розрахунки проводимо для клітей № 5 – 10.

Кліть 5 $T_5 = \dfrac{1000}{\sqrt[3]{\dfrac{1000}{\left(\dfrac{T_{ok}}{100}\right)^3} + 0{,}056\dfrac{\tau_м + \tau_{mp}}{h_{ok}}}} = 1205K$

Кліть 6 $T_6 = \dfrac{1000}{\sqrt[3]{\dfrac{1000}{\left(\dfrac{T_5}{100}\right)^3} + 0{,}056\dfrac{\tau_м + \tau_{mp}}{h_5}}} = 1192K$

Кліть 7 $T_7 = \dfrac{1000}{\sqrt[3]{\dfrac{1000}{\left(\dfrac{T_6}{100}\right)^3} + 0{,}056\dfrac{\tau_м + \tau_{тр}}{h_6}}} = 1175K$

Кліть 8 $T_8 = \dfrac{1000}{\sqrt[3]{\dfrac{1000}{\left(\dfrac{T_7}{100}\right)^3} + 0{,}056\dfrac{\tau_м + \tau_{тр}}{h_7}}} = 1156K$

Кліть 9 $T_9 = \dfrac{1000}{\sqrt[3]{\dfrac{1000}{\left(\dfrac{T_8}{100}\right)^3} + 0{,}056\dfrac{\tau_м + \tau_{тр}}{h_8}}} = 1136K$

Кліть 10 $T_{10} = \dfrac{1000}{\sqrt[3]{\dfrac{1000}{\left(\dfrac{T_9}{100}\right)^3} + 0{,}056\dfrac{\tau_м + \tau_{тр}}{h_9}}} = 1123K$

Данні результатів заносимо в таблицю 2.19

Розрахунок сили прокатки.

Середнє контактне тиснення при прокатці в чистовій групі клітей визначаємо по формулі О. І. Целікова

$$P_{ср} = 1{,}15\sigma_u \frac{2h}{\Delta h(\delta - 1)} \cdot \left(\frac{h_н}{h_1}\right) \cdot \left[\left(\frac{h_н}{h_1}\right)^{\delta} - 1\right]$$

$\sigma_{ТО}$ = 84 МПа

$$k_{t.5} = 0{,}57 + 0{,}0045(1200 - t_5^o)\sqrt{\frac{1200 - t_5^o}{t_5^o}} = 0{,}57 + 0{,}0045(1200 - 932)\sqrt{\frac{1200 - 932}{932}} = 1{,}216$$

$$\frac{\Delta h_5}{h_{ок}} = \frac{8{,}16}{18{,}96} = 0{,}43$$

$$k_{ё5} = 0{,}82 + 0{,}82\sqrt{\frac{\Delta h_5}{h_{ок}}} = 0{,}82 + 0{,}82 \cdot \sqrt{0{,}43} = 1{,}36$$

$$U_{ср.5} = \frac{V_5 \cdot h_5}{h_{ок} \cdot l_{д.5}} = \frac{1{,}6 \cdot 8{,}15}{18{,}96 \cdot 48{,}64} \cdot 1030 = 14{,}6 с^{-1}$$

$$k_{U.5} = 0{,}8 + 0{,}065\sqrt{U_5} = 0{,}8 + 0{,}065 \cdot \sqrt{14{,}6} = 1{,}05$$

$$\sigma_{T.5} = \sigma_{TO} k_{t.5} k_{\varepsilon.5} k_{U.5} = 84 \cdot 1{,}36 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}216 = 145{,}8 \text{МПа}$$

$$f_{y5} = k_1 \cdot k_2 \cdot f_0 = 1 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}4 = 0{,}28$$

$$V_{ск} = V_в \frac{\Delta h_5}{3 \cdot h_5} = 1{,}4 \cdot \frac{8{,}15}{3 \cdot 10{,}8} = 0{,}35 \text{м/с}$$

$$f_0 = 0{,}4$$

$$\delta = \frac{2 f_у \cdot l_д}{\Delta h} = \frac{2 \cdot 0{,}28 \cdot 48{,}64}{8{,}16} = 3{,}34$$

$$\frac{h_н}{h_1} = \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + \left(\delta^2 - 1\right)\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}} = \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + \left(3{,}34^2 - 1\right)\left(\frac{18{,}96}{10{,}8}\right)^{3{,}34}}}{3{,}34 + 1} \right]^{\frac{1}{3{,}34}} = 1{,}25$$

Середнє контактне тиснення

Кліть 5 $P_{ср.5} = 1{,}15 \cdot 145{,}8 \cdot \frac{2 \cdot 10{,}8}{8{,}16 \cdot (3{,}34 - 1)} \cdot 1{,}25 \cdot \left[1{,}25^{3{,}34} - 1\right] = 262 \text{МПа}$

Кліть 6 $P_{ср6} = 329 МПа$

Кліть 7 $P_{ср.7} = 451 МПа$

Кліть 8 $P_{ср.8} = 500 МПа$

Кліть 9 $P_{ср.9} = 619 МПа$

Кліть 10 $P_{ср.10} = 589 МПа$

Сила прокатки

Кліть 5 $P_5 = P_{ср5} \cdot l_{д5} \cdot b = 262 \cdot 48{,}64 \cdot 1{,}25 = 15{,}0 \text{МН}$

Кліть 6 $P_6 = P_{ср6} \cdot l_{д6} \cdot b = 14.52 МН$

Кліть 7 $P_7 = P_{ср7} \cdot l_{д7} \cdot b = 14.24 МН$

Кліть 8 $P_8 = P_{ср8} \cdot l_{д8} \cdot b = 11.65 МН$

Кліть 9 $P_9 = P_{ср9} \cdot l_{д9} \cdot b = 11.02 МН$

Кліть 10 $P_{10} = P_{ср10} \cdot l_{д10} \cdot b = 6.87 МН$

Данні результатів заносимо в таблицю 2.9.

Розрахунок крутячих моментів

$$M_{дв} = \frac{P}{i \eta_\Sigma} \left( 2a + \mu d_{тр} \frac{D_р}{D_{оп}} \right) + M_{хх}$$

$$\mu d_{тр} \frac{D_р}{D_{оп}} = 0{,}00117$$

$$M_{хх.дуо} = 0{,}06 \cdot M_{ном} = 0{,}06 \cdot 110 = 6{,}6кН \cdot м$$

$$\psi_5 = 0{,}498 - 0{,}0283 \frac{l_{д.5}}{h_{ср.5}} = 0{,}498 - 0{,}0283 \cdot \frac{48{,}64}{14{,}88} = 0{,}4$$

$$a_5 = \psi_5 \cdot l_{д.5} = 0{,}4 \cdot 48{,}64 = 19{,}45мм$$

Кліть 5 $M_{дв.5} = \frac{14350}{7{,}23 \cdot 0{,}865} \cdot (2 \cdot 0{,}01945 + 0{,}00117) + 6{,}6 = 100кН \cdot м = 10т \cdot м$

Кліть 6 $M_{дв.6} = 99.8кН \cdot м$

Кліть 7 $M_{дв.7} = 117.6кН \cdot м$

Кліть 8 $M_{дв.8} = 105.2кН \cdot м$

Кліть 9 $M_{дв.9} = 98.6кН \cdot м$

Кліть 10 $M_{дв.10} = 55кН \cdot м$

Данні результатів заносимо в таблицю 2.9.

Розрахунок потужності двигуна:

Потужність, витрачена двигуном при прокатці

$$\eta_{дв5-10} = 0{,}938$$

$$n_{дв} = \frac{V_В \cdot 60}{\pi \cdot D_р} \cdot i = \frac{1{,}4 \cdot 60 \cdot 7{,}24}{3{,}14 \cdot 0{,}58} = 334об/хв$$

$$N_{хх.5} = 0{,}06 \cdot N_{ном} = 0{,}06 \cdot 5000 = 300кВт$$

$\tau_м = 55с$

$\tau_п = 15с$

Кліть 5 $N_{дв.5} = \frac{M_{дв.5} \cdot n_{дв.5}}{\eta_{дв.5}} \cdot \frac{\pi}{30} = \frac{100 \cdot 334}{0{,}938} \cdot \frac{3{,}14}{30} = 3671кВт$

Кліть 6 $N_{дв.6} = \frac{M_{дв.6} \cdot n_{дв.6}}{\eta_{дв.6}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2060кВт$

Кліть 7 $N_{дв.7} = \frac{M_{дв.7} \cdot n_{дв.7}}{\eta_{дв.7}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2198кВт$

Кліть 8 $N_{дв.8} = \frac{M_{дв.8} \cdot n_{дв.8}}{\eta_{дв.8}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1984кВт$

Кліть 9 $N_{дв.9} = \frac{M_{дв.9} \cdot n_{дв.9}}{\eta_{дв.9}} \cdot \frac{\pi}{30} = 2008 кВт$

Кліть 10 $N_{дв.10} = \frac{M_{дв.10} \cdot n_{дв.10}}{\eta_{10}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1181 кВт$

Кліть 5 $N_{екв.5} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.5}\tau_v + N^2_{хх.5}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = \sqrt{\frac{3671^2 \cdot 55 + 300^2 \cdot 15}{70}} = 3256 кВт$

Кліть 6 $N_{екв.6} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.6}\tau_v + N^2_{хх.6}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 1831 кВт$

Кліть 7 $N_{екв.7} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.7}\tau_v + N^2_{хх.7}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 1953 кВт$

Кліть 8 $N_{екв.8} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.8}\tau_v + N^2_{хх.8}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 1764 кВт$

Кліть 9 $N_{екв.9} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.9}\tau_v + N^2_{хх.9}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 1785 кВт$

Кліть 10 $N_{екв.10} = \sqrt{\frac{N^2_{дв.10}\tau_v + N^2_{хх.10}\tau_п}{\tau_м + \tau_п}} = 1056 кВт$

Данні результатів заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Результати розрахунку енергосилових параметрів, температури та потужності двигунів

| № кліті | t, °С | σт, МПа | pср, МПа | Р, МН | Мдв, кН·м | nдв, об/хв | Nдв, кВт | Nекв, кВт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 932 | 131,3 | 262 | 15 | 100 | 334 | 3671 | 3256 |
| 6 | 919 | 151,4 | 329 | 14,52 | 99,8 | 370 | 2060 | 1831 |
| 7 | 902 | 174,7 | 451 | 14,24 | 117,6 | 335 | 2198 | 1953 |
| 8 | 883 | 202,8 | 500 | 11,65 | 105,2 | 38 | 1984 | 1764 |
| 9 | 863 | 266,8 | 619 | 11,02 | 98,6 | 365 | 2008 | 1785 |
| 10 | 850 | 256,3 | 589 | 6,87 | 55 | 385 | 1181 | 1056 |

## 2.5. Розрахунок годинної продуктивності стану

Обґрунтування методики розрахунку годинної продуктивності стану

$$A = \frac{3600 \cdot G}{\tau_п + \tau_м} \cdot \frac{k_1}{k_2}, \quad (2.5)$$

де А – годинна продуктивність стану, т/г

G – маса слябу, т

$$G = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot \rho, \quad (2.6)$$

де $h_0$ – начальна товщина сляба, м; $h_0$ = 0,14м

$b_0$ – начальна ширина сляба, м; $b_0$ = 1,25м

$l_0$ – начальна довжина сляба, м $l_0$ = 8,8м

$\rho$ = 7,8 т/м$^3$

$\tau_м$ – машинний час, складає по розрахунку 55с

$\tau_п$ – час пауз, по заводським даним складає 15с.

$k_1$ – коефіцієнт використання устаткування, по заводським даним дорівнює 0,89

$k_2$ – витратний коефіцієнт, по калькуляції для тонких штаб на 1т готової продукції використовується 1,02т металу, $k_2$ = 1,02.

Розрахунок годинної продуктивності стану:

$$G = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 \cdot \rho = 0,14 \cdot 1,25 \cdot 8,8 \cdot 7,8 = 12 \text{ т}$$

$$A = \frac{3600 \cdot G}{\tau_п + \tau_м} \cdot \frac{k_1}{k_2} = \frac{3600 \cdot 12}{70} \cdot \frac{0,89}{1,02} = 538 \text{т/г}.$$

# 3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

## 3.1. Розрахунок валка на міцність

Розраховуємо на міцність валки кліті кварто безперервного тонколистового стану гарячої прокатки “1680”. Згідно з вимірами тиск металу на валки дорівнює P = 15 МН, а момент прокатки $M_{пр.}= 100 \cdot 10^6$ Н·мм.

Розрахункова схема валків приведена на рисунку 3.1. Розміри валків приведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Основні розміри валків кліті кварто безперервного стану гарячої прокатки 1680

| Валки | Діаметр валків, мм | | Довжина бочки, $l_б$, мм. | Довжина шийки, $l_ш$, мм. | Діаметр шийки, $d_ш$, мм. |
|---|---|---|---|---|---|
| | $D_{max}$ мм. | $D_{min}$ мм. | | | |
| Робочий | 620 | 580 | 1680 | 1025 | 360 |
| Опорний | 1240 | 1170 | 1680 | 1320 | 650 |

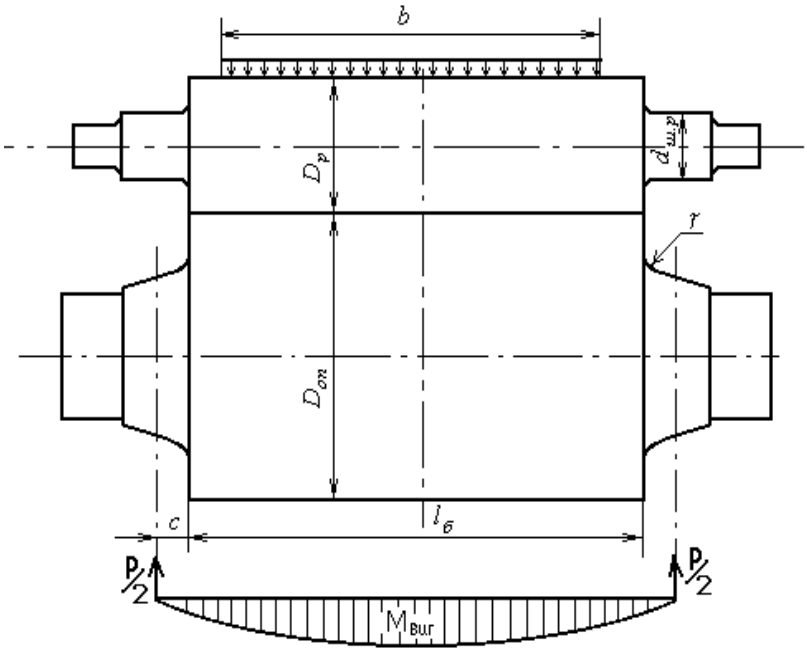



Рисунок 3.1 – Розрахункова схема валків кліті кварто

Допустимий тиск металу на валки, виходячи з міцності бочки опорного валка

$$P_{max.б} = \frac{0,4 \cdot D_{min}^3 \cdot [\sigma]}{l_б + l_ш - 0,5 \cdot b}, \quad Н \tag{3.1}$$

$$P_{max.б} = \frac{0,4 \cdot 1170^3 \cdot 110}{1680 + 1320 - 0,5 \cdot 1250} = 29,7 \cdot 10^6 \, H .$$

де b – ширина штаби; b = 1250 мм,

$\sigma_в$ = 500 – 600 Н, n = 5 – запас міцності

$[\sigma] = \frac{\sigma_в}{n} = \frac{550}{5} = 110$ Н/мм$^2$

$[\sigma]$ – допустиме напруження, $[\sigma]$ = 110 Н/мм$^2$

Допустимий тиск, виходячи з міцності шейки опорного валка

$$P_{max.ш} = \frac{0,4 \cdot d_ш^3 \cdot [\sigma]}{l_ш}, \quad Н \tag{3.2}$$

$$P_{max.ш} = \frac{0,4 \cdot 650^3 \cdot 110}{1320} = 9,2 \cdot 10^6 \, H$$

Таким чином, максимально допустимий тиск прокатки береться мінімальним, по $P_{max.ш}$, який дорівнює $9,2 \cdot 10^6$ Н.

Згинаючий момент в небезпечному перетині бочці валка

$$M_{зг.б} = \frac{P}{2} \cdot \frac{l_ш + l_б}{2} - \frac{P}{2} \cdot \frac{0,5 \cdot b}{2} = \frac{P}{4} \cdot \left( (l_ш + l_б) - \frac{b}{2} \right), \quad Н \cdot мм \tag{3.3}$$

$$M_{зг.б} = \frac{15 \cdot 10^6}{4} \cdot \left( (1320 + 1680) - \frac{1250}{2} \right) = 8,9 \cdot 10^9 \, Н \cdot мм .$$

Згинаючий момент в шийці:

$$M_{зг.ш} = \frac{P}{2} \cdot c, \quad Н \cdot мм \tag{3.4}$$

де с – відстань від вісі натискного гвинта до межи бочки

$$M_{зг.ш} = \frac{15 \cdot 10^6}{2} \cdot 510 = 3825 \cdot 10^6 \quad Н \cdot мм.$$

Напруження вигину:

$$\sigma_б = \frac{M_{зг.б}}{W_б} = \frac{M_{зг.б}}{0{,}1 \cdot D_б^3}, \quad Н/мм^2 \tag{3.5}$$

$$\sigma_б = \frac{8{,}9 \cdot 10^9}{0{,}1 \cdot 1170^3} = 55{,}5 Н/мм^2$$

$$\sigma_ш = \frac{M_{зг.ш}}{W_ш} = \frac{M_{зг.ш}}{0.1 \cdot d_ш^3}, \quad Н/мм^2 \tag{3.6}$$

$$\sigma_ш = \frac{3825 \cdot 10^6}{0{,}1 \cdot 650^3} = 139{,}2 Н/мм^2.$$

Таким чином, напруження вигину не перевищує допустимих $\sigma_ш = 111{,}4 \le [\sigma_{зг}] = 140 \div 150 Н/мм^2$.

Напруження кручення в робочому валку:

$$\tau_{кр.ш} = \frac{M_{кр.ш}}{W_{кр.ш}} = \frac{M_{кр.ш}}{0.2 \cdot d_ш^3}, \quad Н/мм^2 \tag{3.7}$$

$$M_{кр.ш} = \frac{M_{пр}}{2} + M_{тр.ш} = \frac{M_{пр}}{2} + P \cdot f_ш \cdot \frac{d_ш}{2}, \quad Н \cdot мм \tag{3.8}$$

$$M_{кр.ш} = \frac{100}{2} \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^6 \cdot 0{,}003 \cdot \frac{360}{2} = 8{,}15 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$\tau_{кр.ш} = \frac{8{,}15 \cdot 10^6}{0{,}2 \cdot 360^3} = 0{,}87 \text{ Н}/\text{мм}^2,$$

тобто не перевищує допустимих напружень для валків з легованої сталі

$$\tau_{кр.ш} = 0{,}70 < [\tau_{кр.ш}] = 40 \, H/мм^2$$

Розрахунок валка на втомну міцність

Для валків прокатних станів, напруження згину в яких змінюються по симетричному циклу, допустиме напруження визначається за формулою

$$[\sigma]_{доп} = \frac{\sigma_{-1} \cdot \varepsilon_\sigma \cdot \beta}{k_\sigma \cdot n}, \quad \text{Н}/\text{мм}^2 \tag{3.9}$$

де $k_\sigma$ – коефіцієнт концентрації напруження при згині;

n – прийнятий коефіцієнт запасу міцності.

Приймаємо $\sigma_{-1} = 0{,}75 \cdot \sigma_в = 0{,}75 \cdot 590 = 442{,}5 \text{ Н}/\text{мм}^2$,

Коефіцієнт $\varepsilon_\sigma$ знаходимо за методикою розрахунку для $d_ш = 650, \varepsilon_\sigma = 0{,}515.$

Коефіцієнт $\beta$ дорівнює 0,87.

Коефіцієнт концентрації напруження визначається за формулою

$$k_\sigma = 1 + \xi \cdot [(k_\sigma)_0 - 1] \tag{3.10}$$

де $\xi$ – поправочний коефіцієнт, для $\frac{D}{d} = \frac{1170}{650} = 1{,}8$; $\xi = 0{,}975$

$(k_\sigma)_0$ – ефективний коефіцієнт концентрації напруження, для $\frac{r}{d_ш} = \frac{75}{650} = 0{,}11$, $(k_\sigma)_0 = 1{,}7$.

Тоді $$k_\sigma = 1 + 0{,}975 \cdot (1{,}7 - 1) = 1{,}68$$

Коефіцієнт запасу міцності для сталевих валків рекомендується приймати рівним $n = 1{,}1 \div 1{,}4$.

Допустиме напруження виходячи з вимог втомної міцності при згині $(n = 1{,}2)$:

$$[\sigma]_{доп} = \frac{442{,}5 \cdot 0{,}515 \cdot 0{,}87}{1{,}68 \cdot 1{,}2} = 98{,}34 \, Н/мм^2,$$

Максимально допустимий тиск металу на валки виходячи з вимоги втомної міцності:

$$P^{вт}_{доп} = \frac{0{,}4 \cdot d^3_ш \cdot [\sigma]_{доп}}{l_ш}, \quad Н \qquad (3.11)$$

$$P^{вт}_{доп} = \frac{0{,}4 \cdot 650^3 \cdot 98{,}34}{1320} = 8{,}2 \cdot 10^6 \, H$$

$$P^{вт}_{доп} = 8{,}2 \cdot 10^6 \, H \, .$$

### 3.2. Розрахунок на міцність станини

Розраховуємо на міцність станину безперервного стану гарячої прокатки 1680 (рисунок 3.2), тип станини закритий, матеріал станини сталь 35Л, $[\sigma_в] = 500 \div 600 Н/мм^2$, допустимі напруження приймають рівними:

Побудова нейтральної лінії станини

Ордината центру тяжіння вибраних перетинів стійки та поперечок дорівнює $Y_c = \frac{S}{F}$, де S – статичний момент перетину відносно умовної вісі, F – площа перетину.

Перетин А–А (рисунок 2.3) – верхньої поперечки

Площа перетину:

$$F_A = F_1 + F_2 - F_3 - F_4 - F_5 - F_6 - F_7 \quad (3.12)$$

$$F_1 = h_1 \cdot b_1 = 1145 \cdot 1950 = 2232750 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = h_2 \cdot b_2 = 175 \cdot 570 = 99750 \text{ мм}^2$$

$$F_3 = h_3 \cdot b_3 = 175 \cdot 560 = 98000 \text{ мм}^2$$

$$F_4 = \frac{b_3 + b_4}{2} \cdot h_4 = \frac{560 + 440}{2} \cdot 100 = 50000 \text{ мм}^2$$

$$F_5 = h_5 \cdot b_5 = 235 \cdot 440 = 103400 \text{ мм}^2$$

$$F_6 = h_6 \cdot b_6 = 460 \cdot 670 = 308200 \text{ мм}^2$$

$$F_A = 1573400 \text{ мм}^2.$$

Статичний момент перетину відносно вісі Х–Х:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{\tau_п + \tau_м} \cdot \frac{k_1}{k_2} \text{ , мм}^3 \quad (3.13)$$

$$S_i = F_i \cdot c_i, \text{ мм}^3 \quad (3.14)$$

$$S_A = 2232750 \cdot 572{,}5 - 99750 \cdot 1057{,}5 - 98000 \cdot 882{,}5 - 50000 \cdot 745 - \\ - 103400 \cdot 577{,}5 - 308200 \cdot 230 = 918429250 \quad мм^3$$

Ордината центру тяжіння:

$$Y_A = \frac{S_A}{F_A}, \quad \text{мм} \quad (3.15)$$

$$Y_A = \frac{918429250}{1573400} = 584 мм .$$

Перетин Б–Б (рис. 3.3) – стійки станини.

Площина перетину:

$$F_Б = h \cdot b, \text{ мм}^2 \quad (3.16)$$

$$F_Б = 740 \cdot 620 = 458800 \text{ мм}^2.$$

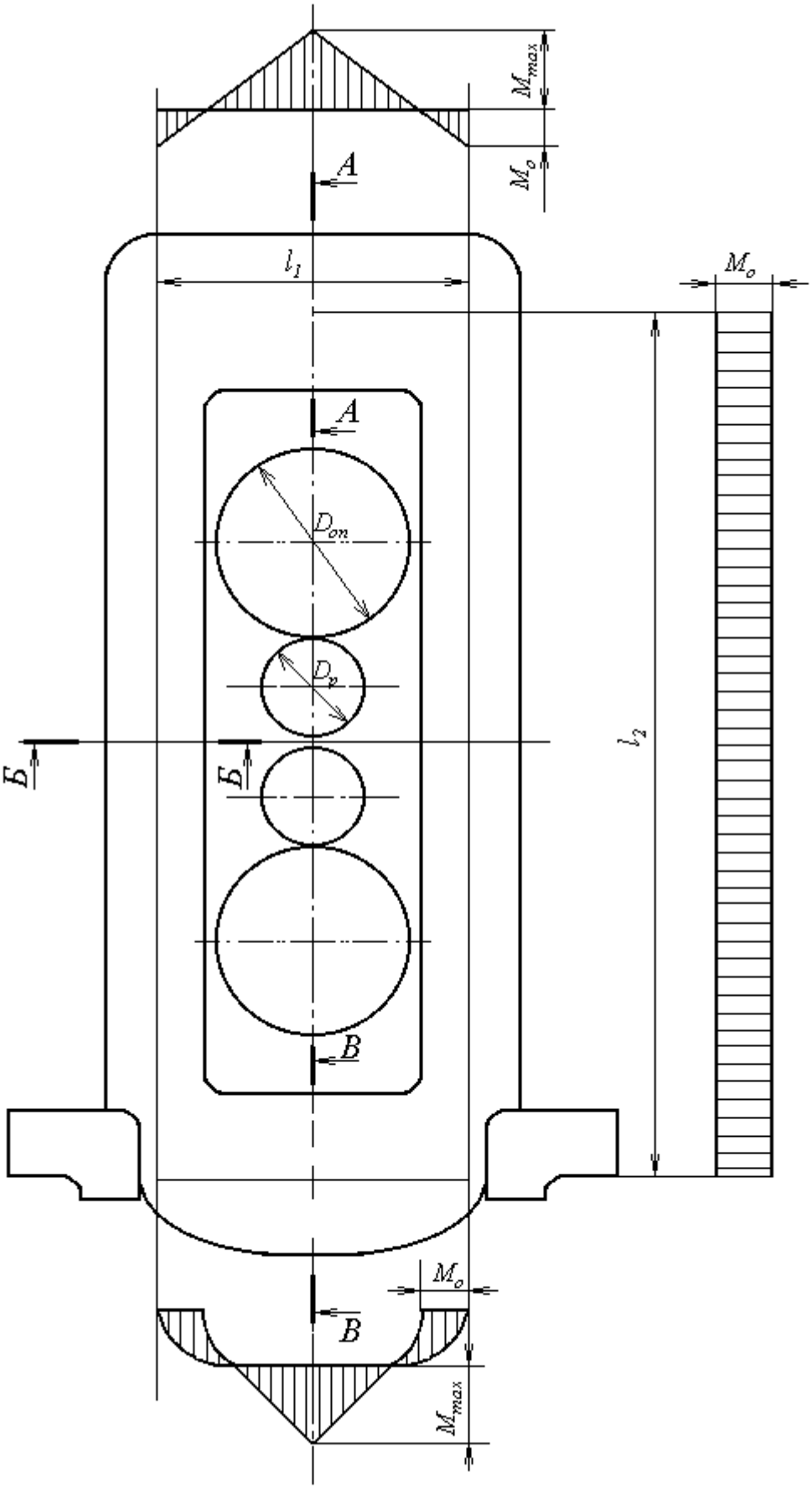



Рисунок 3.2 – Станина БШС 1680

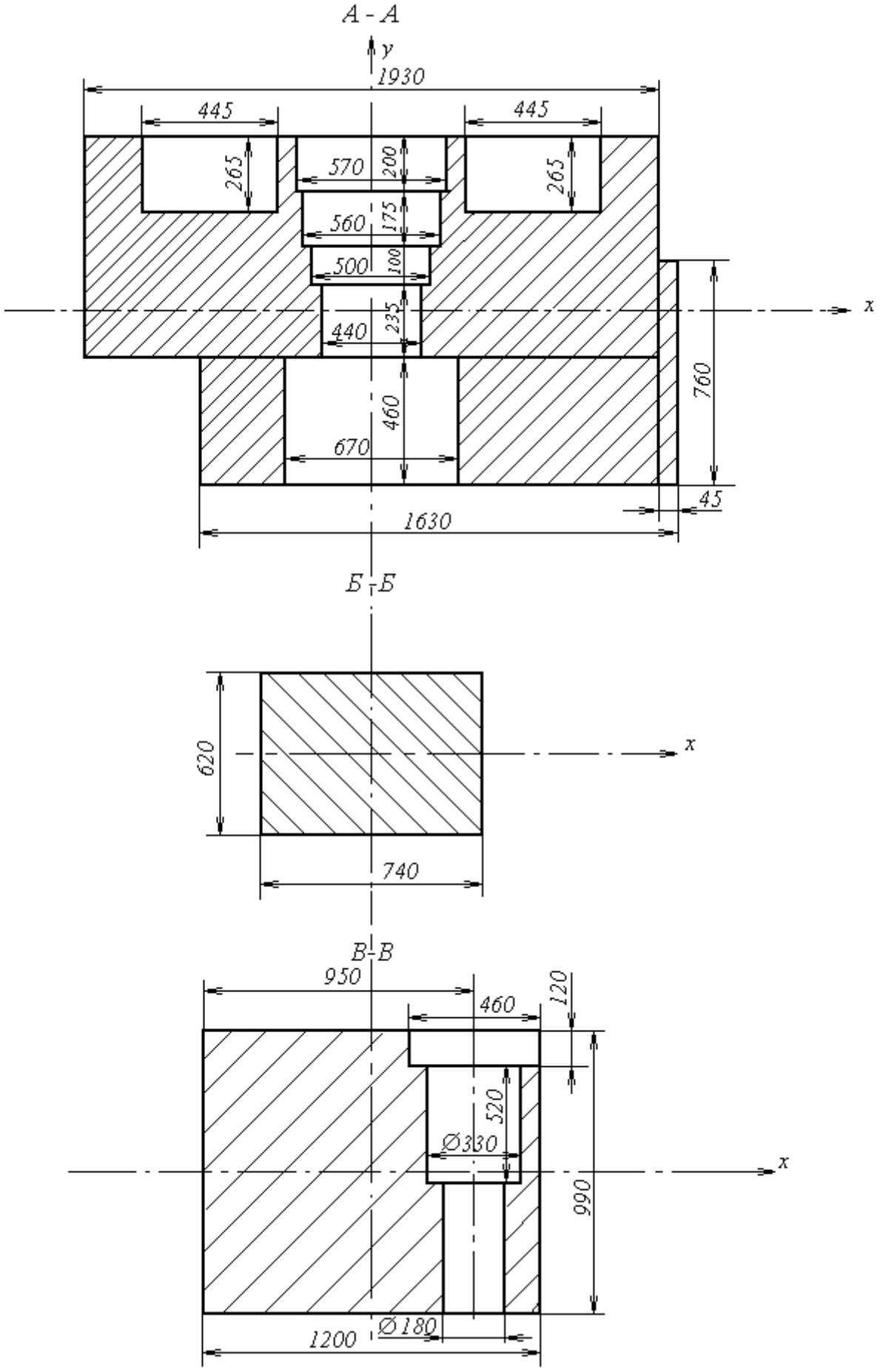



Рисунок 3.3 – Перетини станини

Статичний момент відносно вісі Y–Y:

$$S_Б = F_Б \cdot c_Б,\ мм^3 \tag{3.17}$$

$$S_Б = 458800 \cdot 310 = 142228000\ мм^3.$$

Абсциса центру тяжіння

$X_c = 310$ мм.

Знаючи положення центрів тяжіння перетинів, будуємо нейтральні лінії поперечок та стійок, з'єднуємо їх та отримуємо таким чином жорстку раму, навантажену вертикальними силами $P_{макс}$.

$$l_1 = 1320 + 2 \cdot 310 = 1940\,мм;$$

$$l_2 = 4715 + 584 + (990 - 468) = 5821\,мм.$$

Моменти інерції перетинів відносно вісей, що проходять крізь центри тяжіння:

Верхньої поперечки:

$$I_A = I_1 - I_2 - I_3 - I_4 - I_5 - I_6\ ,\ мм^4 \tag{3.18}$$

$$I_i = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + a_i^2 \cdot F_i, \tag{3.19}$$

де $h_i, b_i$ – відповідні розміри перетину;

$a_i$ – відстань від центру тяжіння перетину до центру тяжіння елементу;

$F_i$ – відповідна площина перетину.

$$I_1 = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} + a_1^2 \cdot F_1 = \frac{1950 \cdot 1145^3}{12} + 11{,}5^2 \cdot 2232750 = 24{,}4 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

$$I_2 = \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} + a_2^2 \cdot F_2 = \frac{570 \cdot 175^3}{12} + 485^2 \cdot 99750 = 2{,}4 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

$$I_3 = \frac{b_3 \cdot h_3^3}{12} + a_3^2 \cdot F_3 = \frac{560 \cdot 175^3}{12} + 310^2 \cdot 98000 = 0{,}97 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

$$I_4 = \frac{b_4 \cdot h_4^3}{12} + a_4^2 \cdot F_4 = \frac{440 \cdot 100^3}{12} + 172{,}5^2 \cdot 50000 = 0{,}15 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

$$I_5 = \frac{b_5 \cdot h_5^3}{12} + a_5^2 \cdot F_5 = \frac{440 \cdot 235^3}{12} + 5^2 \cdot 103400 = 0{,}48 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

$$I_6 = \frac{b_6 \cdot h_6^3}{12} + a_6^2 \cdot F_6 = \frac{670 \cdot 460^3}{12} + 342{,}5^2 \cdot 308200 = 4{,}2 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

$$I_A = 162 \cdot 10^9 \text{ мм}^4.$$

Стійки станини:

$$\mathrm{I_Б} = \frac{\mathrm{b} \cdot \mathrm{h}^3}{12}, \text{мм}^4 \qquad (3.20)$$

$$\mathrm{I_Б} = \frac{740 \cdot 620^3}{12} = 14.7 \cdot 10^9 \text{мм}^4.$$

Моменти опору перетин:

$$\mathrm{W_i} = \frac{\mathrm{I_i}}{\mathrm{Y_i}}, \text{ мм}^3 \qquad (3.21)$$

$$W_A = \frac{I_A}{Y_A} = \frac{162 \cdot 10^9}{584} = 27{,}8 \cdot 10^7 \text{ мм}^3$$

$$\mathrm{W_Б} = \frac{\mathrm{I_Б}}{\mathrm{Y_Б}} = \frac{14{,}7 \cdot 10^9}{310} = 4{,}74 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Розрахунок згинаючих моментів

Статично невизначений момент:

$$M_{0.A} = \frac{P \cdot l_1}{8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{I_A}{I_Б}}, \text{ Н·мм} \qquad (3.22)$$

$$M_{0.A} = \frac{15 \cdot 10^6 \cdot 1940}{8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{5821}{1940} \cdot \frac{162 \cdot 10^9}{14.7 \cdot 10^9}} = 106{,}7 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Максимальний момент в середині поперечині:

$$M_{A\,max} = \frac{P \cdot l_1}{4} - M_{0.A}, \text{ Н·мм} \qquad (3.23)$$

$$M_{A\,max} = \frac{15 \cdot 10^6 \cdot 1940}{4} - 85{,}4 \cdot 10^6 = 7{,}2 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Максимальне напруження в небезпечних перетинах

а) в середині поперечки:

$$\sigma_A = \frac{M_{A\,max}}{W_A}, \ \text{Н}/\text{мм}^2 \qquad (3.24)$$

$$\sigma_A = \frac{7{,}2 \cdot 10^9}{27{,}8 \cdot 10^7} = 25{,}8 \ \text{Н}/\text{мм}^2 \cdot$$

Напруження в середині поперечки входять в діапазон допустимих напружень $[\sigma]_п = 50 \text{Н}/\text{мм}^2$, тому вимоги міцності виповнюються.

б) в стійці на внутрішнім волокні

$$\sigma_{Б} = \frac{P}{2 \cdot F_{Б}} + \frac{M_{0.max}}{W_{Б}},\ Н/мм^2 \qquad (3.25)$$

$$\sigma_{В} = \frac{15 \cdot 10^6}{2 \cdot 458800} + \frac{154 \cdot 10^6}{4.74 \cdot 10^7} = 19{,}6\ Н/мм^2$$

$$\sigma_{Б} \le [\sigma]_{ст} = 40 \div 50\ Н/мм^2.$$

### 3.3. Розрахунок пружної деформації кліті

#### 3.3.1. Розрахунок пружної деформації валків

Деформація валкового вузла визначається пружним стиском опорного і робочого валків, просіданням опорного валка, вигином робочого валка від дії штаби.

Деформація робочого валка від дії штаби за методикою Б.С.Ковальського:

$$\delta_p^{'} = 2 \cdot \frac{P(1-\nu_p^2)}{\pi b E} \cdot \left( \ln \frac{2R_p}{B} + 0{,}407 \right); \qquad (3.26)$$

де $B = 1{,}128 \cdot \sqrt{\eta q_м \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$ ; (3.27)

$$B = 1{,}128 \cdot \sqrt{0{,}0000091 \cdot 55 \cdot \frac{310 \cdot 620}{310 + 620}} = 0{,}38.$$

E – модуль пружності;

P – тиск металу на валки;

$R_p$ – радіус робочого валка

для випадку коли $E_{штаби} = E_р$:

$$\eta = 2 \cdot \frac{1-\nu_p^2}{E_p} = 2 \cdot \frac{1-0{,}3^2}{2 \cdot 10^5} = 0{,}0000091.$$

Після підстановки відповідних значень в формулу 2.45 отримуємо:

$$\delta_p^{'} = 2 \cdot \frac{12\left(1-0{,}3^2\right)}{3{,}14 \cdot 1250 \cdot 2 \cdot 10^5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 310}{0{,}363} + 0{,}407 \right) = 0{,}22 \text{ мм.}$$

Визначимо пружний стиск між опорним та робочим валком.

$$\delta_{p_on} = 2 \cdot \frac{q_м}{\pi} \cdot \left[ \frac{1-\nu_p^2}{E} \left( \ln \frac{2R_p}{B} + 0{,}407 \right) + \frac{1-\nu_{on}^2}{E} \left( \ln \frac{2R_{on}}{B} + 0{,}407 \right) \right]; \quad (3.28)$$

$$\delta_{p_on} = 2 \cdot \frac{60}{3{,}14} \cdot \left[ \frac{1-0{,}3^2}{2 \cdot 10^5} \left( \ln \frac{2 \cdot 310}{B} + 0{,}407 \right) + \frac{1-0{,}3^2}{2 \cdot 10^5} \left( \ln \frac{2 \cdot 620}{B} + 0{,}407 \right) \right] = 0{,}28$$

Величина просідання опорного валка визначається як $y_{прос}=y_1+y_2$:

$$y_1 = \frac{PL^3}{18{,}8ED_{on}^4} \cdot \left( 19{,}16 + 2{,}34 \left[ \left( \frac{D_{on}}{d_{шоп}} \right)^4 - 1 \right] \right); \quad (3.29)$$

$$y_2 = \frac{0{,}68PL}{\pi G d_{on}^2}; \quad (3.30)$$

де P – тиск металу на валки;

L – довжина бочки валків;

$D_{оп}$ – діаметр бочки опорного валка;

$d_{шоп}$ – діаметр шийки опорного валка;

E, G – модуль пружності та модуль зсуву матеріалу валка.

$$y_{прос} = 0{,}306+0{,}041 = 0{,}347 \text{ мм.}$$

Сумарна деформація валкового вузла дорівнює:

$$\delta_{ву} = 2 \cdot \left( \delta_p^{'} + \delta_{p_on} + y_{прос} \right) = 2 \cdot \left( 0{,}22 + 0{,}28 + 0{,}347 \right) = 1{,}694 \text{ мм}$$

### 3.3.2. Розрахунок пружної деформації підшипників

Для приблизної оцінки сумарної лінійної величини контактної деформації в підшипниках рідинного тертя використовується методика І.Ф.Приходько, основана на рішенні І.Я.Штаєрмана: [3]

$$\delta_2' = 2\left[ R_{вкл}\sqrt{1-\left(\frac{R_ц}{R_{вкл}}\cdot\sin\varphi_0\right)^2} - \left(R_ц\cdot\cos\varphi_0 + \Delta_{ПРТ}\right)\right], \text{ мм} \qquad (3.31)$$

де $R_{вкл}$ та $R_ц$ – відповідно радіуси вкладиша та цапфи підшипника рідинного тертя, мм

$\varphi_0$ - кутова ширина половини площадки контакту цапфи ПРТ з вкладишем, град; Приймаємо $\varphi_0 = 5°$.

$$\Delta_{ПРТ} = R_{вкл} - R_ц = 2 \text{ мм}$$

$$\delta_2' = 2\left[ 442\sqrt{1-\left(\frac{440}{442}\cdot\sin 15\right)^2} - \left(440\cdot\cos 15 + 2\right)\right] = 0{,}015 \text{ мм}.$$

Загальна пружна деформація двох підшипників ПРТ верхнього та нижнього опорних валків дорівнює:

$$\delta_2 = 2\cdot\delta_2' = 2\cdot 0{,}015 = 0{,}03 \text{ мм}.$$

### 3.3.3. Розрахунок пружної деформації подушок

Пружну деформацію подушки визначають за формулою

$$\delta_3' = \frac{P\cdot h}{E\cdot F}, \text{ мм} \qquad (3.32)$$

де P – тиск на подушку; E – модуль пружності; h – висота брусу; F – площина перетину брусу.

$$\delta_3' = \frac{15 \cdot 10^6 \cdot 230}{2 \cdot 10^5 \cdot \frac{650 + 1200}{2} \cdot 725} = 0{,}027 \text{ мм}$$

Деформація двох подушок складає $\delta_3 = 2 \cdot \delta_3' = 2 \cdot 0{,}027 = 0{,}054$ мм

Розрахунок пружної деформації станини

Загальна деформація станини в вертикальному напрямку складається:

1) деформація від дії згинаючих моментів:

$$\delta_4' = \frac{P \cdot l_1^3}{24 \cdot E \cdot I_1} - \frac{M_0 \cdot l_1^2}{4 \cdot E \cdot I_1}, \text{ мм} \qquad (3.33)$$

2) деформація від дії подовжніх сил:

$$\delta_4'' = \frac{P \cdot l_2}{2 \cdot E \cdot F_2}, \text{ мм} \qquad (3.34)$$

3) деформація від дії поперечних сил:

$$\delta_4''' = \frac{1.2 \cdot P \cdot l_1}{2 \cdot G \cdot F_1}, \text{ мм} \qquad (3.35)$$

де P – вертикальний тиск на шейку валка (в даному випадку половина тиску метала на валки);

$l_1, l_2$ – довжина поперечки та стійки (між нейтральними лініями);

$F_1, F_2$ – площина перетину поперечки та стійки;

$I_1, I_2$ – моменти інерції перетинів поперечки та стійки;

$E, G$ – модулі пружності та зсуву.

Деформація від дії згинаючих моментів:

$$\delta_4' = \frac{15 \cdot 10^6 \cdot 1940^3}{24 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 162 \cdot 10^9} - \frac{85{,}4 \cdot 10^6 \cdot 1940^2}{4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 162 \cdot 10^9} = 0{,}15 \text{ мм.}$$

Деформація від дії подовжніх сил:

$$\delta_4'' = \frac{15 \cdot 10^6 \cdot 5821}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 458800} = 0{,}5\,\text{мм}.$$

Деформація від дії поперечних сил:

$$\delta_4''' = \frac{1{,}2 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 1940}{2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^5 \cdot 1573400} = 0{,}05\,\text{мм}.$$

Загальна пружна деформація станини в вертикальному напрямку

$$\delta_4 = 0{,}15 + 0{,}5 + 0{,}05 = 0{,}7\text{мм}.$$

### 3.3.4. Розрахунок пружної деформації натискного гвинта

Величину пружної деформації натискного гвинта визначаємо формулою:

$$\delta_5 = \frac{4 \cdot P \cdot h}{\pi \cdot E \cdot d_в^2},\ \text{мм} \qquad (3.36)$$

де P – тиск на гвинт;

h – висота частини гвинта, що стискається;

E – модуль пружності матеріалу гвинта;

$d_в$ – внутрішній діаметр натискного гвинта (по різьбленні).

$$\delta_5 = \frac{4 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 1000}{3{,}14 \cdot 2{,}2 \cdot 10^5 \cdot 413^2} = 0{,}52\,\text{мм}.$$

Розрахунок пружної деформації гайки натискного гвинта

Як відомо, навантаження на гвинт гайки розподіляється нерівномірно, виходячи з цього повна пружна деформація гайки знаходиться за формулою:

$$\delta_6 = \frac{4 \cdot P \cdot \left(h - 1.87 \cdot h_p\right)}{\pi \cdot \left(D_н^2 - D_в^2\right) \cdot E_1}, \text{ мм} \qquad (3.37)$$

де $h$ – висота гайки;

$h_р$ – крок різьблення гайки;

$D_н$ – зовнішній діаметр гайки;

$D_в$ – внутрішній діаметр гайки по різьбленню.

$$\delta_6 = \frac{4 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot \left(410 - 1{,}87 \cdot 10\right)}{3{,}14 \cdot \left(670^2 - 415^2\right) \cdot 10^5} = 0{,}3 \text{ мм.}$$

Загальна пружна деформація кліті.

Загальна пружна деформація кліті в вертикальному напрямку складає

$$\delta_{кл} = \delta_{ву} + \delta_{ст} + \delta_{нв} + \delta_г + \delta_{пжт} + \delta_{под} \qquad (2.62)$$

$$\delta_{кл} = 1{,}694 + 0{,}7 + 0{,}52 + 0{,}3 + 0{,}03 + 0{,}054 = 3{,}3 \text{ мм.}$$

Модуль жорсткості кліті при цьому складає:

$$M_{кл} = \frac{P}{\delta_{кл}} = \frac{15 \times 10^6}{3{,}3} = 4{,}5 \times 10^6 \text{ Н/мм} = 4{,}5 \text{ МН/мм.}$$

# 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності (стаття 1 Закону «Про охорону праці» в редакції від 21.11.02)

Правовою основою охорони праці є Конституція України, Закон України:, «Про охорону праці» (2002), «Про страхування» (2015), «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку» та інші.

## 4.1. Технічні рішення щодо безпечної експлуатації стана гарячої прокатки 1680

Небезпечними виробничими чинниками на прокатному стані є наступні: захоплення і затягування одягу і частин тіла валками, шпинделями, що обертаються, і сполучними муфтами; відліт окалини і уламків металу; опіки; удари прокатуваним металом. Для попередження травматизму при прокатці металу максимально механізують і автоматизують прокатні стани.

Сполучні шпинделі і муфти необхідно захищати не тільки збоку, але і зверху захисними кожухами, причому запобіжні кожухи повинні впритул примикати до станин клітей.

Запобіжними кожухами обладнують обертальні механізми, таким чіном забезпечують захист для людини. Сполучні шпинделі необхідно обладнати захищаючими пристроями камерного типу.

Пристрій для управління натискними гвинтами для зручності і безпеки їх обслуговування, розташовують в безпечному місці: на зовнішньому торцевому боці кліті. Для управління натискними гвинтами доцільно застосовувати штурвали, оскільки важелі можуть викликати удари робочих у разі втрати самогальмування натискних гвинтів.

Контроль розмірів прокату в процесі прокатки здійснюється дистанційно.

Для усунення розльоту окалини з поверхні слябів перед чорновими клітями встановлений окалинозламувач з пристроєм для гідрозбива окалини. Прибирання окалини під клітями станів і рольгангів механізують за допомогою гідрозмиву, спеціальних транспортерів, скребків і інших пристосувань

Конструкція і розташування двигунів прокатних станів повинні задовольняти вимогам раціональної технології і безпеки їх обслуговування. Зокрема, управління електродвигунами виконують дистанційно з пультів управління прокатного стану.

Пости управління прокатними станами і допоміжними агрегатами розташовують на висоті 2-2,5 м, щоб оператори добре бачили агрегати.

Пости управління обладнані сигнальними пристроями і гучномовцями для сповіщення про пуск, зупинку або зміну режиму роботи обслуговуваних агрегатів. Пости управління стану повинні бути забезпечені кондиціонерами.

Для безпечного пересування людей в прокатних цехах передбачають спеціальні проходи, надійно захищені від рухомих розкатів. Щоб забезпечити безпечний перехід через лінію прокатки, встановлені перехідні містки, які мають міцну огорожу заввишки 1,8 м. Підлогу в прокатних цехах систематично очищають від пилу, окалини і пролитого масла. Обладнання стану фарбують відповідно до основних принципів виробничої естетики і стандарту.

Перед пуском стану майстер або старший вальцювальник зобов'язаний перевірити справність стану, наявність необхідних огорож і запобіжних пристроїв, переконатися у відсутності робочих поблизу частин стану і допоміжного обладнання, що обертаються. Після цього подати встановлений сигнал.

Необхідно виконувати правила внутрішнього розпорядку, строго дотримуватись правил техніки безпеки.

## 4.2. Технічні рішення з санітарії та гігієни праці на дільниці

У системі законодавства щодо гігієни праці головне місце займає Закон України «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення» (1994).

№ 3044-84 Санітарні норми вібрації робочих місць.

№ 3223-85 Санітарні норми допустимого рівня шуму на робочих місцях. № 4086-86 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

На ділянці стану на здоров'я працюючих впливають шкідливі фізичні, хімічні і психофізіологічні чинники технологічних процесів: гази, що виділяються в повітряне середовище, пари, пил, тепло, шуми, вібрації; різні види випромінювань, фізичне навантаження.

До виробничої санітарії відносяться: обладнання приміщень вентиляцією, опалюванням і іншими санітарно-технічними пристроями; оснащення вбиралень, душових, вмивальних і інших санітарно-побутових приміщень; забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту; запобігання забрудненню навколишнього середовища рідинами, газами, парами. випромінюванням, шумами.

### 4.2.1. Мікроклімат

Метеорологічні умови у виробничих приміщеннях характеризуються атмосферним тиском, температурою, вологістю і швидкістю руху повітря, а також інтенсивністю теплового випромінювання.

Метеорологічні умови впливають на протікання життєвих процесів в організмі людини.

У цеху організований правильний питний режим для зменшення надмірної втрати організмом води і солей, встановлені автомати газованої води і білково-вітамінного напою, який містить необхідні організму вітаміни, солі.

Відповідно до норм відносна вологість повітря в межах 35 - 60% при температурі 18 -20 $^0$С вважається нормальною. При цих параметрах повітря і руху його із швидкістю 0,1 - 0,2 м/с людина, що прибуває у спокої або що виконує легку роботу, переживає відчуття комфорту.

При фізичних роботах оптимальна температура 14 – 17˚С.

Температура повітря на ділянці прокатного стану в теплий період року не перевищує на 5˚С температуру зовнішнього повітря і не більше 28˚С.

Висока і низька вологість негативно впливає на самопочуття і здоров'я людини.

У холодний період року на ділянці прокатного стану відносна вологість 40%, що є нормою. У теплу пору року при температурі повітря на ділянці прокатного стану 18 – 25˚С вологість повітря рівна 45% що є нормою.

У холодний період року в цеху швидкість руху повітря рівна 0,2 - 0,3 м/с, а в літній час 0,3 - 1 м/с.

Теплове випромінювання спричинює перегрів організму і негативно впливає на зір працівників. Для захисту від теплового випромінювання встановлені екрани у джерел. Застосовують аерацію повітря тим самим, забезпечуючи повітрообмін в цеху. Для аерації в стінах будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху або у верхній частині будівлі встановлюють спеціальні пристрої (ліхтарі) для видалення відпрацьованого повітря. Для регулювання надходження і видалення повітря передбачено перекриття на необхідну величину аераційних отворів і ліхтарів. Це особливо важливо в холодний період року.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

| Параметр | Нормативне значення | Фактичне значення |
|---|---|---|
| Температура повітря, ˚С | 15 - 27 | 42 |
| Інфрачервоне випромінювання, Вт/м$^2$ | 140 | 427 |

### 4.2.2. Склад повітря робочої зони

Гранично допустима концентрація згідно ГОСТ 12.1005 - 88 «Загальна вимога до повітря робочої зони».

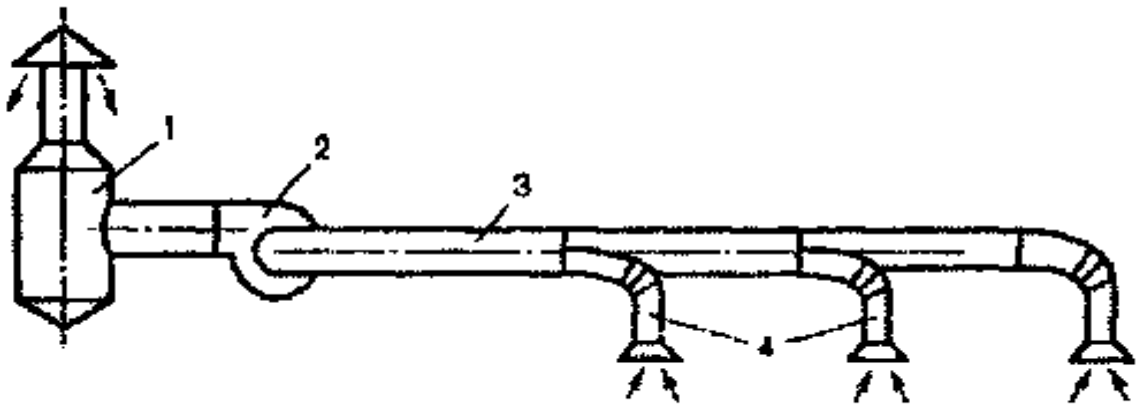
Склад повітря не перевищує ГДК згідно ГОСТ 12.1005 - 88.

Для очищення повітря від шкідливих речовин рекомендується застосовувати витяжну вентиляцію (рис. 4.1) і безпосередньо розташовувати її у джерелах виникнення шкідливих речовин, таких як пил.

Таблиця 4.2 - Склад повітря робочої зони.

| Інгредієнт | Фактичне, мг/м$^3$ | ГДК, мг/м$^3$ |
|---|---|---|
| Пил | 4,59 | 4,0 |
| Ангідрид сірчистий | 6,25 | 10,0 |
| Діоксид азоту | 1,15 | 2,0 |
| Оксид вуглецю | 4,9 | 20,0 |

В даному випадку раціонально використовувати місцеву витяжну вентицялію над чорновим окалинозламувачем і клітями чорнової групи, оскільки там виділяється основна маса пилу.




1 □□очисний пристрій, 2 □□вентилятор, 3 □□повітропровід, 4 □□повітропроводи, що висмоктують забруднене повітря з робочої зони.

Рисунок 4.1 - Схема витяжної вентиляції

### 4.2.3. Виробниче освітлення

Незадовільне освітлення служить причиною травматизму, негативно впливає на зір працівників і знижує продуктивність праці.

Виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам:

створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи не нижче встановлених норм;

забезпечити достатню рівномірність у виробничих приміщеннях в уникнення частої адаптації органів зору;

не створювати осліплюючого дії, як від самих джерел так і інших предметів, що знаходяться в полі зору;

не створювати на робочій поверхні різких глибоких тіней;

забезпечити достатній для відмінності деталей, контраст освітлюваних поверхонь;

повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним і естетичним.

Природне освітлення цеху забезпечується через вікна в стінах і світлові ліхтарі на даху будівлі.

Коефіцієнт природної освітленості рівний 3.

Штучне освітлення в цеху здійснюється лампами розжарювання і люмінесцентними лампами. У цеху застосовують загальне освітлення. Освітленість в цеху не менше 200 лк, що є нормою.

Для раціонального розподілу світлового потоку ламп застосовується освітлювальна арматура. У цеху застосовуються світильники прямого світла, що підвішуються на значній висоті.

Контроль за станом освітленості проводять за допомогою приладів - люксметрів.

### 4.2.4. Виробничий шум

Надмірний шум шкідливий для здоров'я працюючих, спричиняє травматизм і знижує продуктивність праці.

Робота в умовах підвищеного шуму на протязі всього дня викликає стомлення слухових органів. Тривала дія шуму, що перевищує допустимі норми, приводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи, що управляють рівновагою людини в просторі.

Вухо людини сприймає звуки з частотою від 16 - 20 до 20000 дБ, в даному цеху шум становить нормативне значення 80 дБ, для оператора керування станом гарячої прокатки (чистова група, чорнова група) фактичне значення 90,6 Гц, а для вальцювальника стану гарячої прокатки фактичне значення 104 Гц.

Вимірювання інтенсивності виробничих шумів здійснюється шумомірами. Коливання з частотою більше 20000 дБ називається ультразвуковим. Ультразвук значної інтенсивності представляє серйозну небезпеку для здоров'я і навіть для життя людини. Дія ультразвукових коливань на організм людини передається як через повітря, так і при контакті працівників з обладнанням, що коливається з ультразвуковою частотою.

Для попередження дії ультразвуку на працівників пропонується звукоізолювати устаткування або розмістити його в герметичних звукоізолюючих камерах; використовувати інструменти з рукоятками з еластичних матеріалів і застосовувати засоби індивідуального захисту у вигляді антифонів, берушів і спеціальних комбінованих рукавичок з бавовняної тканини і гуми.

### 4.2.5. Виробничі вібрації

Вібрації - коливання тіл з частотою менше 20 - 16 Гц. Тривала дія вібрації великої частоти викликає вібраційну хворобу, вражаючу нервово -

м'язову і серцево - судинну системи людини і ведучу до пошкодження суглобів. При цьому може бути повна втрата працездатності. Для вимірювання вібрації в цеху використовують віброшуми, що відносяться до приладів неелектричного типу.

Розвиток прокатного виробництва зв'язано зі збільшенням потужності і продуктивності основного і допоміжного устаткування, що досягається підвищенням швидкості машин. Однак високі швидкості приводять до різкого збільшення динамічних зусиль, порушенням стійкості технологічного процесу обробки металу і підвищенню шуму і вібрацій. Останні впливають на організм людини і негативно впливають на продуктивність праці. Тому проектні рішення з охорони праці повинні містити і розробку заходів для зниження рівнів шуму і вібрації в прокатному цеху, що має важливе гігієнічне, виробниче і загальнодержавне значення.

Ослаблення рівня шуму може бути досягнуто слідуючи ми заходами:

для персоналу влаштовують звукоізолюючі кабіни з оглядовими вікнами, крім цього, кабіни обладнані системою кондиціонування повітря;

для захисту від шумових навантажень на організм людини робітниками використовуються спеціальні вставки "беруши" і протишумні навушники.

Ослаблення вібрацій може бути досягнуто виконанням конструктивних і технологічних заходів:

зрівноважуванням і динамічним балансуванням обертових деталей машин;

усуненням дефектів і люфтів деталей;

застосуванням динамічних гасителів, що мають резонансну частоту, що збігається з частотою вібрацій, які необхідно усунути;

установкою вібруючих агрегатів на самостійні віброізольовані фундаменти, із застосуванням пружної підвіски агрегатів і амортизаторів;

застосуванням амортизації робочих місць (сталевих пружин, ресор, прокладок з гуми, пробок і т.д..

Для захисту від вібрації і шуму пропоную:

замінити виробничі процеси, що викликають шум і вібрації, іншими менш гучними процесами;

влаштувати спеціальні фундаменти, незалежні від конструкцій будівель які

мають значну масу і акустичні шви;

застосувати ізолюючі прокладки і амортизатори;

застосувати звукоізолюючі кожухи для закривання особливо гучного устаткування;

застосувати звукоізолюючі і звукопоглинальні матеріали;

використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму і вібрації, а також проведення заходів гігієнічного характеру.

### 4.2.6. Виробничі випромінювання

Ряд виробничих процесів в чорній металургії супроводжується дією на працівників інфрачервоного, видимого, ультрафіолетового і іонізуючого випромінювання. Надмірна яскравість в прокатному цеху викликає явище тимчасової осліплюваності і негативно впливає на світлочутливі елементи сітківки очей людини.

Для попередження осліплюваності працівників потрібно застосовувати окуляри з кольоровим склом (світлофільтрами). Для захисту працівників від тепловипромінювання встановлюють між джерелами тепловипромінювання працівниками екрани або ланцюгові завіси, що затримують інфрачервону радіацію.

Основними джерелами тепловиділення у прокатному цеху є методичні печі, метал, що прокатується і готові прокатні вироби.

Заходи щодо боротьби з тепловим випромінюванням і надлишковим теплом зводяться до  зменшення чи повного усунення випромінювання і створення необхідних умов тепловіддачі організмом. Нижче розглянуті деякі

заходи щодо забезпечення встановлених норм кліматичних умов у прокатному цеху:

застосовується загальний повітрообмін (аерація), а також повітряні душі, кондиціонування повітря на робочих місцях;

з метою збереження працездатності організму при роботі в умовах підвищеного тепловиділення встановлений раціональний питний режим;

вікна печей закриті футерованими кришками, перетин випускного отвору на 50 % більше перетини впускного;

усі фіксовані робочі місця біля печей обладнані місцевою приточною вентиляцією, з попереднім охолодженням і зволоженням повітря в літній період;

велика увага приділена створенню сприятливих умов роботи машиністів мостових електрокранів, стіни і підлога кабіни кранів надійно ізольовані, у кабінах кранів установлені кондиціонери, вікна кабіни захищають склом з повітряними прошарками між шарами скла.

### 4.3. Протипожежна безпека

Правовою основою діяльності у області пожежної безпеки є Конституція, Закон України «Про пожежну безпеку».

Згідно ДСТУ 2272-93 пожежна безпека об'єкту забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту і заходами організаційного характеру.

За всіх умов повинна бути забезпечена пожежна безпека об'єкту і безпека людей.

#### 4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання пожежам і вибухам в цеху необхідно дотримувати правила пожежної безпеки.

До основних умов попередження пожежі відносяться запобігання утворення горючого середовища і поява джерел запалення.

Пожежі відбуваються унаслідок наступних основних причин: нераціонального проектування металургійних цехів, технологічних процесів, агрегатів і устаткування без належного урахування вимог пожежної безпеки; порушення нормальних режимів технологічних процесів; неполадок в роботі пристроїв, для очищення, транспортування і споживання газу; нераціонального пристрою і неправильної експлуатації електромереж і електроустаткування; самоспалахування; порушення елементарних вимог пожежної охорони.

Джерелами утворення горючого середовища є масло і паливо методичних печей.

До організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки відносяться: пожежна охорона об'єкту спеціальними формуваннями; розробка і здійснення правил і норм пожежної безпеки, правил дотримання протипожежного режиму і встановлених заходів щодо ліквідації виниклої пожежі; навчання працівників заходам пожежної безпеки

Пожежний захист забезпечується застосуванням негорючих або важко горючих речовин, обмеженням кількості горючих речовин і ізоляцією горючого середовища, а також запобігання пожежі, застосуванням ефективних засобів пожежогасінні, організацією безперешкодної евакуації людей, використанням засобів колективного і індивідуального захисту, протидимного захисту, застосуванням засобів сигналізації і зв'язку і організацією пожежної охорони об'єкту.

### 4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

При проектуванні промислових підприємств повинні бути забезпечені необхідні вимоги пожежної безпеки. До цих вимог відносяться: раціональне розміщення будівель і споруд на території підприємства з урахуванням

вибухової, та пожежної небезпеки технологічних процесів окремих цехів і інших виробничих об'єктів, а також з урахуванням створення оптимальних умов для запобігання розповсюдженню і ліквідації пожеж; наявність доріг, які забезпечують безперешкодний під'їзд пожежних підрозділів у разі виникнення пожежі; раціональне розташування всякого роду комунікацій з урахуванням діючих вимог пожежної безпеки.

Протипожежні перешкоди влаштовують для попередження розповсюдження пожежі. До ним відносяться перекриття, що не згорають, і протипожежні стіни.

Протипожежні розриви між будівлями і спорудами призначаються залежно від ступеня вогнестійкості будівель і категорії взривопожежонебезпечності виробництв.

За ОНТП 24 – 86 приміщення цеху належить до категорії «Г».

| «Г» | |
|---|---|
| П-1 | 2 |

При проектуванні виробничих будівель передбачають можливість безперешкодного виходу з приміщень при виникненні пожеж, вибухів і інших аварій. Шляхи евакуації повинні бути мінімальної довжини.

Основні небезпеки пожеж від електричних пристроїв виникають при займанні ізоляції дротів і короткому замиканні. Основною причиною займання ізоляції є перегрів дротів.

Унаслідок порушення еластичності ізоляції і її руйнування нерідко виникає коротке замикання дротів. Для запобігання загорянню ізоляції і короткого замикання дротів потрібно застосувати плавкі запобіжники або спеціальні автомати, що відключають мережу при перевантаженні.

Для сповіщення пожежних підрозділів про виникнення пожежі в цеху використовують телефонний зв'язок і спеціальну електричну пожежну сигналізацію.

Для гасіння пожежі, в цеху застосовують вогнегасники, воду, водні емульсії галоїдірованних вуглеводнів, водяну пару, легко-механічну і хімічну піну, інертні гази, вуглекислоту, стисле повітря.

Залежно від умов загоряння створені різні типи вогнегасників: пінні, повітряно-пінні, газові, порошкові.

У зимову пору року під'їзди до ним повинні регулярно очищатися від снігу. Розпорядженням по цеху призначаються особи відповідальні за стан пожежних гідрантів. Будь-який робочий, який помітив або почув сигнали пожежної сигналізації, повинен негайно повідомити про це черговому електрику, майстру або майстру зміни, за відсутності таких, будь-якому інженерно-технічному працівнику і діяти надалі відповідно до його вказівок. На ділянці «прокатний стан» передбачено наявність пожежних щитів з інвентарем в склад, якого входить: відро, лопата, багор і ящик з піском. На пожежному щиті повинно знаходиться 2 пінних вогнегасника типу ВПП - 10, а в машинному залі 2 вуглекислотних вогнегасника ВВ - 8. Кількість вогнегасників повинна відповідати нормам: один вогнегасник на 600 $м^2$, внутрішньоцехове пожежне водозабезпечення.

### 4.4. Заходи щодо охорони навколишнього середовища

Близько 90% всієї сталі, що виплавляється надходить на прокатку. У порівнянні з іншими переділами чорної металургії в прокатному виробництві утворюється менше пилу і газів. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря в прокатному виробництві є нагрівальні печі, машини вогневої зачистки і травильні агрегати, а також стани гарячої прокатки, над якими утворюються пилевиброси (2,0 - 18,0 г/т прокату), що містять окалину (оксиди заліза) і інші метали в залежності від ступеня легування сталі і сплаву. Ці викиди надходять через аераційний ліхтар в атмосферу.

Викиди нагрівальних печей містять оксиди азоту. З машин вогневої зачистки з відсмоктуванням через їх укриття газом виноситься пил, який містить до 90% оксидів заліза.

На МК "Запоріжсталь" йде постійне вдосконалення, модернізація та оновлення основних фондів і технологічних процесів з урахуванням передових екологічних технологій, строго виконуються вимоги природоохоронного законодавства та реалізуються заходи відповідно до природоохоронної програмою підприємства на 2012-2017 роки.

Питання охорони навколишнього середовища і раціонального використання ресурсів є пріоритетним напрямком. При поганій організації робіт і нераціональному використанні ресурсів недосконалої технології тягне за собою забруднення навколишнього середовища в районі їх розташування.

В даний час є 3 основних напрямки в охороні навколишнього середовища:

1. Перехід до принципово раціонально нової безвідходної або маловідходної технології, що ґрунтується на комплексному використанні сировини.
2. Попереднє очищення сировини і заміна одних видів сировини іншими з меншим вмістом шкідливих домішок.
3. Удосконалення роботи впроваджених споруд.

# ВИСНОВКИ

У загальній частині розглянуто характеристику цеху та обладнання, ознайомилися з обладнанням яке використовують на стані БТЛС 1680, дана характеристика марки сталі S235JR та розміри прокату. Детально ознайомилися з технологічним процесом, видами дефектів.

У технологічній частині розглянуто основні заходи щодо впровадження нового режиму деформації та оптимізація режиму прокатки у чистовій групі клітей БТЛС 1680 в умовах цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь».

У технологічній та механічній частинах провели розрахунки режиму деформації та енергосилових параметрів прокатки штаб 1,8х1200 мм: розрахунок режиму обтисків, зусилля прокатки, розрахунок валків на міцність, розрахунок продуктивності стану.

У частині охорони праці та техногенна безпека визначено небезпечні та шкідливі фактори, розглянули інструкції щодо безпечного ведення робіт, також розглянуто їхній вплив на навколишнє середовище.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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

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

3. Василёв Я.Д., Сафъян М.М. Производство полосовой и листовой стали : учебник для вузов. Киев : Вища школа, Головное издательство, 1976. 192 с.

4. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства : учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311 с.

5. Сафъян М.М., Мазур В.Л., Сафъян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351 с.

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

7. Чащин В. В., В. А. Капитанов, Попов Е. С. Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне. *Производство проката.* 2008. № 8. С. 17-23.

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

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

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

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

12. Дубовский Б. А., Никифоров Б. А., Радионова Л. В. Иследование влияния технологических параметров горячей прокатки на структуру низкоуглеродистых и низколигированных марок стали. Производство проката. 2006. №10. С. 15-20.

13. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2004. 31 с.

14. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. учебник. изд. 2-е, дополненное. Львов : Афиша, 2000. 350 с.

15. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. Киев : Техника, 1991. 285 с.

16. Панасейко С. П. Гигиена труда и производственная санитария : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 232 с.

17. Панасейко С. П. Методические указания для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Охрана труда» (раздел «Вентиляция и кондиционирование»). Запорожье : ЗГИА, 2002. 45 с.

18. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев : Высшая шк., 1978. 328 с.

19. Рижков В. Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності „Металургія чорних металів” спеціалізації „Охорона праці та екологія металургійного виробництва” денної та заочної форм навчання / Укл.: В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2004. 60 с.