Міністерство освіти та науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Аналіз умов експлуатації шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь», удосконалення їх механізмів»

Виконав: магістрант групи 8.1333

Дідусь Павло Вікторович .
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

_____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Шейко С.П.._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О. .
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2024 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра
Дідуся Павла Вікторовича .
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Аналіз умов експлуатації шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь», удосконалення їх механізмів»

   керівник магістерської роботи к.т.н., доц. Шейко С.П.
   затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» лютого 2024 року № 359-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 13 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи пресового обладнання
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. 1. Огляд та аналіз методів зниження паразитних навантажень та деформацій в виконавчих механізмах пресового обладнання; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. План устаткування обтискного цеху – А1; 2. Шпиндель креслення складальне–А1; 3. Вкладиш – А2; 4 Шпиндель – А2 5. Плакати дослідної частини– 2А1;
6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шейко С. П., к.т.н., доц.		
2	Шейко С. П., к.т.н., доц.		
3	Шейко С. П., к.т.н., доц.		
4	Шейко С. П., к.т.н., доц.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.2024 – 27.05.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2024– 15.09.2024	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.2024 – 16.10.2024	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.2024– 17.11.2024	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.2024– 30.11.2024	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2024 – 03.12.2024	
7	Попередній захист проекту	04.12.2024	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____ П.В.Дідусь
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____ С.П. Шейко
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дідусь П.М. Аналіз умов експлуатації шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь», удосконалення їх механізмів» .

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник С.П. Шейко. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра металургійного обладнання, 2024.

У роботі розглянуті теоретичні основи роботи шпиндельних пристроїв, методики їх діагностики та аналізу, а також запропоновані технічні рішення для підвищення надійності та продовження терміну служби обладнання, зокрема визначена втомна довговічність шарніру шпинделя та швидкість зношування

Ключові слова: УНІВЕРСАЛЬНИЙ ШПИНДЕЛЬ, ВКЛАДИШИ, ЗНОШУВАННЯ.

ABSTRACT

Didys P.V. Analysis of Operating Conditions of 1150 Slyabing Spindle Devices of Zaporizhstal Plant, Improvement of Their Mechanisms

Qualifying final work for master's degree in specialty 133 - Sectoral engineering, scientific supervisor S.P Sheyko. Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2024

The paper discusses the theoretical foundations of spindle devices, methods for their diagnosis and analysis, as well as offers technical solutions to increase the reliability and extend the service life of the equipment, in particular, the fatigue life of the spindle joint and the wear rate are determined

Key words: UNIVERSAL SPINDLE, LINERS, WEAR.

ЗМІСТ

Вступ 7

1. Огляд та аналіз науково-технічних рішень щодо умов експлуатації шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь» 9

1.1 Коротка характеристика Прат «Запоріжсталь 9

1.2 Опис технологічного процесу обтискного цеху . Вимоги до агрегату 11

1.3 Механічного обладнання обтискного цеху 14

1.4 Аналіз умов роботи шпиндельного пристрою 16

1.5 Шляхи удосконалення механізмів шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь» на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень 20

1.6 Обґрунтування обраного напряму роботи 23

2. Розрахунок шпиндельного вузла універсальної кліті слябінгу 1150 25

2.1 Розрахунок універсального шпинделя 25

2.2 Розрахунок на стійкість стрижня пружинного зрівноважування шпинделя 31

3. Дослідно-експериментальна частина 34

3.1 Опис лабораторної установки 34

3.2. Дослідження впливу форми та розмірів поперечного перетину шпинделя на його втомну довговічність 37

3.3 Дослідження зношування кладишів шпиндельного пристрою 44

4 Охорона праці в галузі та техногенна безпека 56

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих факторів 56

4.2 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів 58
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії 60
4.3.1 Мікроклімат 60
4.3.2 Освітлення виробничих приміщень 61
4.3.3 Виробничий шум 63
4.3.4 Виробничі випромінювання 64
4.4Техногенна безпека 65
4.4 Заходи пожежної безпеки 68
4.5 Розрахунок вентиляції для видалення надлишкової теплоти 70
Загальні висновки та рекомендації 73
Список використаних посилань 74
Список виконаних креслень 76
Додатки 77

ВСТУП

Актуальність теми

В сучасних умовах розвитку металургійної промисловості України особливу увагу приділяють підвищенню ефективності роботи обладнання, що використовується у виробничих процесах. Одним із ключових елементів прокатних станів є шпиндельні пристрої, які забезпечують передачу крутного моменту від приводів до робочих валків. Їхній технічний стан і надійність визначають стабільність роботи прокатних станів, якість готової продукції та економічні показники виробництва.

Слябінг 1150 комбінату «Запоріжсталь» є одним із важливих об’єктів дослідження в контексті удосконалення металургійного обладнання. Його шпиндельні пристрої зазнають значних динамічних навантажень, що зумовлює необхідність детального аналізу умов їх експлуатації. Виявлення причин зносу, пошкоджень і відмов механізмів дозволить розробити практичні рекомендації щодо підвищення їх довговічності та надійності.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю забезпечення стабільної роботи прокатних станів у сучасних умовах конкуренції на ринку металургійної продукції, що вимагає мінімізації витрат на обслуговування та ремонт обладнання. Очікувані результати роботи сприятимуть підвищенню ефективності виробничих процесів, зниженню експлуатаційних витрат і поліпшенню якості металургійної продукції.

У роботі будуть розглянуті теоретичні основи роботи шпиндельних пристроїв, методики їх діагностики та аналізу, а також запропоновані технічні рішення для підвищення надійності та продовження терміну служби обладнання.

Мета роботи

Метою даної роботи є аналіз умов експлуатації шпиндельних пристроїв слябінга 1150, виявлення основних проблем їх роботи та розробка технічних рішень для удосконалення цих механізмів. Для досягнення поставленої мети необхідно провести теоретичні дослідження, аналіз практичних даних

експлуатації та обґрунтувати пропозиції щодо конструктивних і технологічних змін. Поставлені наступні задачі:

- вивчення конструктивних особливостей шпиндельних пристроїв;
- ознайомлення з досвідом експлуатації аналогічних механізмів у металургійній галузі;
- аналіз альтернативних конструкцій вузлів і використання сучасних матеріалів;
- розрахунок напружено-деформованого стану елементів шпиндельного пристрою під дією експлуатаційних навантажень;
- дослідження зносу та пошкоджень елементів шпиндельних пристроїв.

Об'єкт дослідження –шпиндельний пристрій стану 1150.

Предмет дослідження - конструктивні особливості, шпинделів, механізми зношування та вплив експлуатаційних параметрів на довговічність і надійність роботи.

Методи дослідження:

Методи дослідження. Використані методи інженерного аналізу та математичного моделювання.

Відомості про апробацію результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально- економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, ЗНУ, 2024).

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з вступу, чотирьох основних розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та виконаних креслень та додатків. Загальний обсяг роботи 77 сторінок, , 16 рисунків, 4таблиць, список використаних джерел з 21 позицій та додатків.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШПИНДЕЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ СЛЯБІНГА 1150 КОМБІНАТУ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

1.1 Коротка характеристика Прат «Запоріжсталь»

ПРАТ "Запоріжсталь" — одне з найбільших металургійних підприємств України, що входить до складу групи компаній "Метінвест". Воно розташоване в місті Запоріжжя і займається виробництвом сталі, прокату, труб та іншої металургійної продукції. Підприємство є стратегічно важливим для економіки України, оскільки має великий вплив на металургійну галузь та експортну складову країни.

Виробничі потужності

На "Запоріжсталі" працюють кілька основних цехів:

1. **Доменний цех** — одна з головних частин підприємства, де проводиться виплавка чавуну, з якого виготовляється сталь. Завод має потужності для виробництва великої кількості чавуну щорічно.
2. **Конверторний цех** — у цьому цеху чавун переробляється в сталь. Сучасні доменні печі і конвертери дозволяють забезпечити високу якість і великий обсяг виробництва сталі.
3. **Мартенівський цех** — використовується для виробництва спеціальних марок сталі з допомогою мартенівських печей.
4. **Цех прокату** — на цьому етапі виробляється широкий асортимент прокату: від листового і сортового до арматури та інших металевих виробів.
5. **Цех трубного виробництва** — виробляються трубопровідні труби, які використовуються в енергетичній, нафтовій та газовій промисловості.

Продукція

Продукція, що виробляється на "Запоріжсталі", включає:

- **Сталь** — підприємство виробляє різні марки сталі, зокрема для використання в машинобудуванні, будівництві та енергетиці.

- **Прокат** — прокат листовий, сортовий, арматурний та інші види прокату, які знаходять широке застосування в різних галузях промисловості.
- **Труби** — компанія випускає труби для енергетичної, газової та нафтової галузей, а також для будівництва.

Модернізація та екологічність

За останні роки завод активно модернізується. Встановлено нові технології для зниження впливу виробництва на навколишнє середовище. Наприклад, зниження викидів шкідливих газів, водоочищення та впровадження енергозберігаючих технологій стали важливою частиною стратегії підприємства. Також впроваджено високотехнологічне обладнання для поліпшення якості продукції.

Соціальна відповідальність

"Запоріжсталь" є одним із найбільших роботодавців у регіоні. Завод надає тисячі робочих місць і активно підтримує соціальні програми для своїх працівників та місцевої громади. Важливими аспектами є забезпечення безпеки на виробництві та поліпшення життєвих умов працівників.

Технології та інновації

Підприємство активно використовує новітні технології, які дозволяють оптимізувати виробничі процеси та підвищити ефективність. Наприклад, на заводі працює сучасне обладнання для переробки відходів і повторного використання металу, що зменшує екологічне навантаження.

Вклад у економіку України

"Запоріжсталь" є важливим виробничим підприємством для України. Завод постачає свою продукцію на внутрішній ринок і на експорт, роблячи значний внесок у розвиток економіки країни. Продукція компанії експортується до багатьох країн Європи, Азії та інших регіонів світу.

Таким чином, ПРАТ "Запоріжсталь" залишається важливим елементом вітчизняної металургії, зберігаючи свою роль одного з найбільших виробників сталі та металургійних виробів в Україні.

1. 2 Опис технологічного процесу обтискного цеху . Вимоги до агрегату

Обтискний цех призначений для прокатки злитків з вуглецевої, легованої та нержавіючої сталі, з яких виготовляються сляби товщиною від 100 до 200 мм, шириною 1000–1520 мм і довжиною від 1800 до 4700 мм. Цех розміщується в будівлі довжиною 500 м та шириною 200 м і складається з таких основних ділянок:

- відділ нагрівальних колодязів;
- скраповий прольот;
- машинний зал;
- ділянка шлакоочистки;
- відкритий склад злитків.

Злитки надходять до цеху з мартенівського виробництва, потім проходять через стриперне відділення, де очищаються від литників, після чого, з температурою від 300 до 1060°С, транспортуються до нагрівальних колодязів. Крім того, злитки легованих і нержавіючих марок сталі з ОАО «ДСС», температура яких не менше 800°С, становлять 5-10% від загального обсягу виробництва, а також холодні злитки зі складів мартенівського та обтискного цехів. Нормативний запас злитків складає 15500 тон.

Останнім часом, для зниження витрат природного газу, сляби направляються безпосередньо в цех гарячого прокату тонкого листа, що дозволяє прокатувати їх без попереднього підгріву. Це дає змогу доставляти сляби в сусідній цех всього за 4 хвилини. Наразі близько 90% слябів йде до цеху тонкого листа, а 10% — в підігрівальні печі.

На рисунку 1 показано план розташування обладнання стану слябінгу 1150.

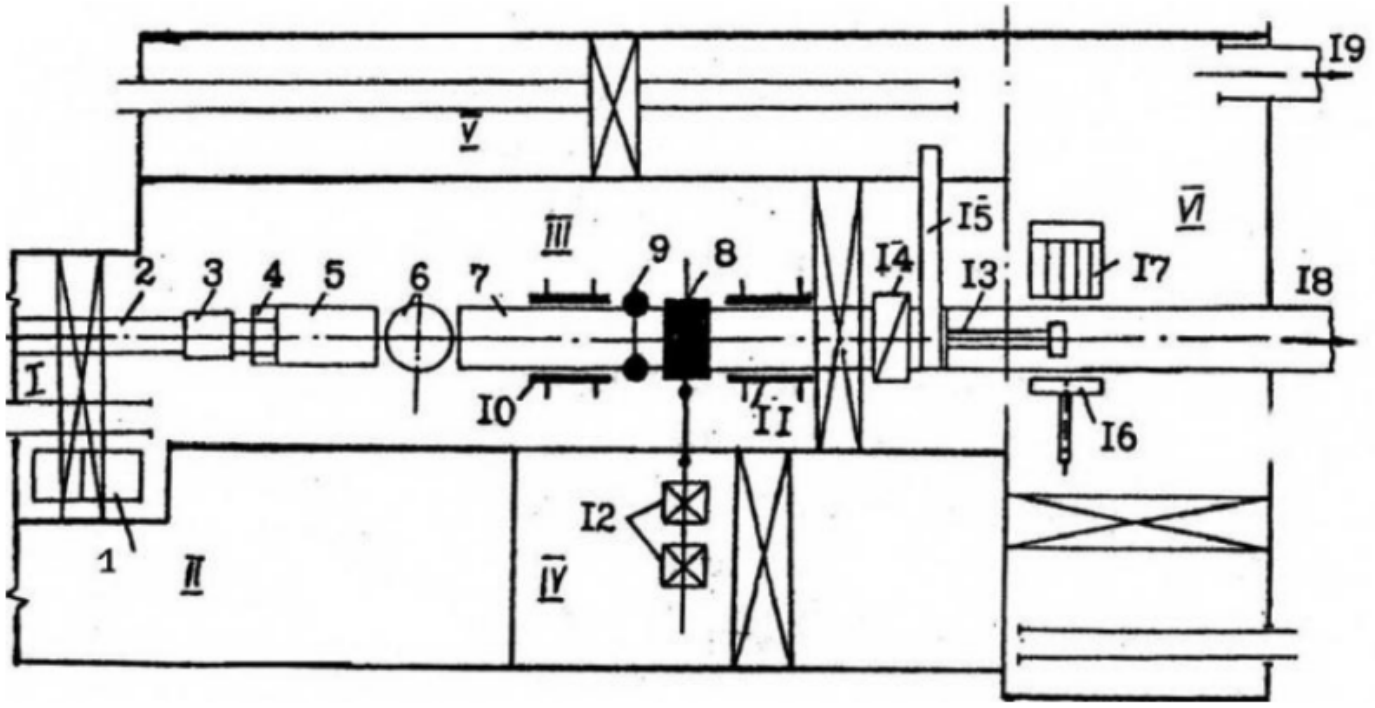


Рис. 1.1 Схема розташування обладнання слябінга: I - проліт нагрівальних колодязів; II - проліт контрольно-вимірювальної апаратури; III - проліт стана, IV - машинний зал; V - скрапний проліт; 1 - нагрівальні колодязі; 2 - шлях злитковоза; 3 - злитковізний візок; 4 - перекидач; 5 - приймальний рольганг; 6 - поворотний стіл; 7 - підвідний і робочи рольганги; 8 - кліть з горизонтальними валками; 9 - кліть з вертикальними валками; 10 - маніпулятор з кантувателем; 1 - маніпулятор; 12 - головний привід; 13 -пересувний упор; 14 - ножиці; 15 - конвеєр обрізків; 16 - зіштовхувач; 17 штабелюючий пристрій; 18 - рольганг до неперервного широкоштабового стана (ШСГП); 19 - рольганг до печей ШСГІ

Перед початком прокатки зливки нагрівають у рекуперативних нагрівальних колодязях. Після досягнення необхідної температури їх дістають за допомогою кліщових кранів і розміщують на зливковозах. Зливковози переміщуються по кільцевому маршруту зі швидкістю до 5,4 м/с на прямолінійних ділянках. На замкнутому кільці зазвичай працюють чотири зливковози, кожен із яких доставляє зливок до приймального рольганга і зупиняється у місці вивантаження. За допомогою зіштовхувача зливок переміщується з зливковоза на рольганг, який транспортує його до робочої кліті. На цьому етапі зливок зважується.

Універсальна прокатна кліть представлена на рис.1.2.

.

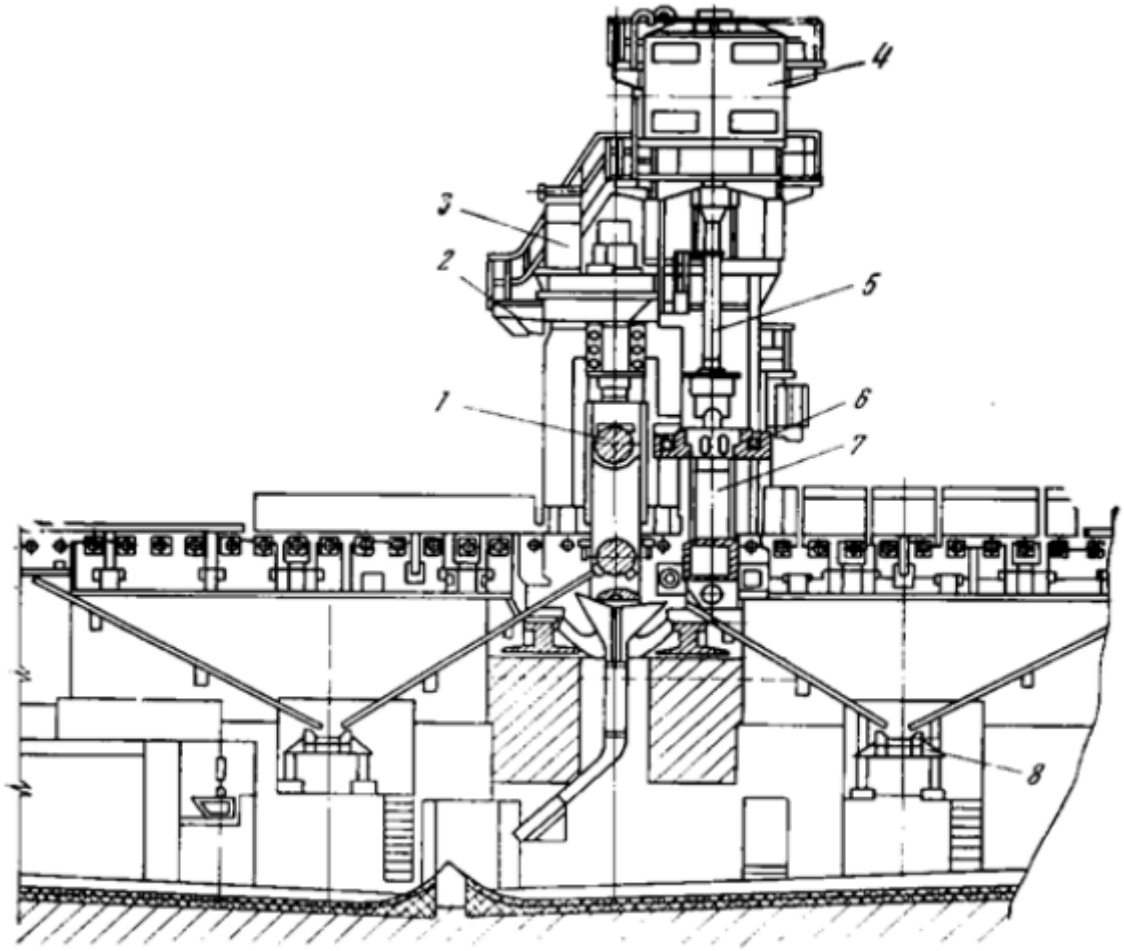


Рисунок 1.2 – Універсальна робоча кліть стану 1150

Універсальна кліть стану 1150 має горизонтальні та вертикальні валки. Відстань між осями горизонтальних і вертикальних валків становить 2250 мм. Горизонтальні валки закритого типу, реверсивні, з діаметром 1150 мм і довжиною бочки 2000 мм. Кожен валок приводиться в рух електродвигуном потужністю 7200 кВт, передача здійснюється через шпиндель. Розтвір валків регулюється в діапазоні 80–900 мм, а швидкість підйому становить 150 мм/с. Оберти валків налаштовуються в межах ±53 об/хв.

Вертикальні валки мають діаметр 700 мм і довжину бочки 1150 мм. Привід забезпечується чотирма електродвигунами потужністю 1250 кВт кожен через редуктор із передавальним числом 3,744. Розтвір валків змінюється в межах 1800–720 мм, а швидкість їх переміщення – 64,8 мм/с. Оберти валків регулюються в діапазоні ±78 об/хв, а їх синхронізація виконується за допомогою електричної схеми.

Після прокатки сляби проходять обробку на машині вогневого зачищення, яка видаляє тріщини, закати, окалину і раковини шляхом оплавлення поверхневого шару металу. Далі сляби ріжуть на мірні частини і обрізають дефектні кінці летючими ножицями, що становить 10–15% від початкової маси зливка. Обрізки збирають конвеєром і відправляють у вагони. Готові сляби клеймують, зважують і транспортують для подальшої обробки або зберігання

1.3 Механічного обладнання обтискного цеху

Механічне обладнання цеху містить у собі основне й допоміжне устаткування. В “обтискному” цеху основним устаткуванням є робоча кліть (Усе інше устаткування цеху є допоміжним.

Допоміжне устаткування можна розділити так само за групами: - транспортуюче устаткування; - устаткування для різання й маркування; - нагрівальне устаткування; - кантувальне, що зіштовхує і розворотні механізми; - підйомно – транспортне устаткування. Рольганги, прийомний і хитний рольганг, роб

Нагрівальні колодязі

У обтискному цеху зливки нагрівають у регенеративних нагрівальних колодязях. Всього є 14 груп колодязів: групи 1–11, 13 і 14 складаються з чотирьох осередків, згрупованих для зручності розташування зливків і видалення шлаків за схемою 2–2 або 3–1. Група 12 має шість осередків і блокується за схемою 3–3, з можливістю видалення рідкого шлаку. Колодязі використовуються для нагрівання зливків із різних марок сталі: вуглецевої, низьколегованої, високовуглецевої, легованої і спеціальної.

Система постачання газу включає один загальний газовий колектор і три колектори для повітря. У перший повітря нагнітається вентиляторами груп 1–6, у другий – груп 7–11, у третій – груп 12–14. Як паливо використовується доменно-коксовий газ із додаванням природного, що забезпечує потрібну калорійність. Збалансування складу газу здійснюється через вузол збагачення, керований бригадиром.

Кожен осередок має клапани для регулювання подачі газу і повітря, а також шибери для управління тягою. Продукти згоряння виводяться через димарі висотою 50 м (для груп 1–11) і 80 м (для груп 12–14). Осередки обладнані автоматичними системами контролю температури, розрідження, співвідношення газу і повітря, а також системою автоматичного перемикання клапанів. Локальні пульти керування дозволяють автоматизувати процес нагрівання.

Продуктивність нагрівальних колодязів залежить від типу зливків: для гарячих зливків вона становить 15–18 т/год, для холодних – 8–10 т/год.

Стан слябінг

Стан 1150 включає дві кліті: для горизонтальних і вертикальних валків. Відстань між їх осями становить 2250 мм.

- **Горизонтальні валки**: реверсивні, із діаметром 1150 мм і довжиною бочки 2000 мм. Вали приводяться в дію електродвигунами потужністю 7200 кВт кожен, через шпиндельну передачу. Розчин валків регулюється в межах 80–900 мм, швидкість підйому – 150 мм/с, а оберти – у діапазоні ±0–80 об/хв.

- **Вертикальні валки**: діаметр – 700 мм, довжина бочки – 1150 мм. Приводяться в дію чотирма електродвигунами потужністю 1250 кВт через редуктор. Розчин валків регулюється від 1800 до 720 мм, швидкість переміщення – 64,8 мм/с, а оберти налаштовуються в межах ±0–78 об/хв.

Стан обладнаний маніпулятором для переміщення зливків і кантувачем для їх повороту на 90° або 180°.

Ножиці для різання слябів

Різання виконується ножицями із верхнім різом, привод яких здійснюється від двох електродвигунів потужністю 1250 кВт. Найбільше зусилля різання – 20000 кН, а частота – 5–9 різів за хвилину залежно від режиму.

Обладнання для транспортування та збирання слябів
Готові сляби з рольгангів переміщуються на транспортери або укладаються в стопи за допомогою спеціальних зіштовхувачів і столів. Максимальна вага стопи становить 20 тонн.

1.4 Аналіз умов роботи шпиндельного пристрою

З'єднувальні шпинделі забезпечують передачу обертального руху до валків від шестеренної кліті. Крім того, вони можуть передавати обертання між валками двох клітей, якщо їх розташування є лінійним.

Передача обертального моменту від приводу робочої кліті до прокатних валків у більшості сучасних прокатних станів здійснюється за допомогою шпинделів різних типів: трефових, із зубчастим зачепленням, кулькових, роликових та універсальних із шарніром Гука. Останні можуть бути встановлені на підшипниках кочення або антифрикційних вкладишах, які зазвичай виготовляються з бронзи.

У потужних прокатних станах універсальні шпинделі з антифрикційними вкладишами визнані оптимальним рішенням через їхню компактність і надійність.

Вони дозволяють передавати обертання валкам навіть при значному відхиленні осей шестеренних і прокатних валків, яке виникає при підйомі верхнього валка (рис1.3).

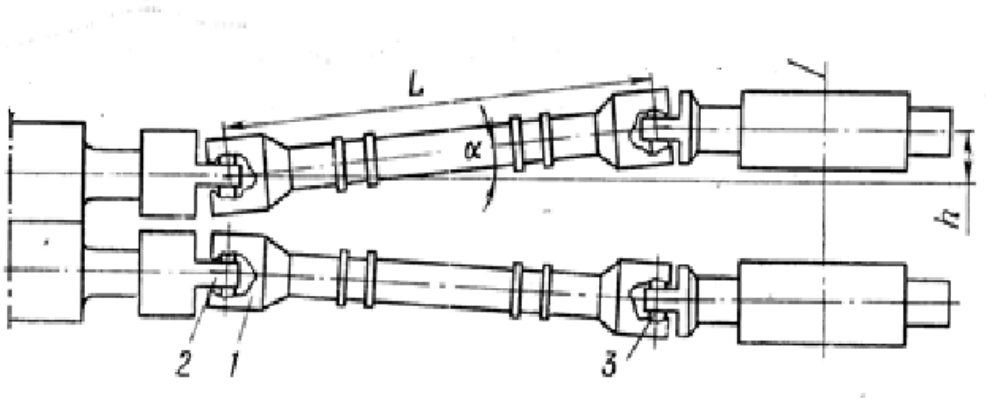


Рисунок 1.3 - . Схема розташування універсальних шпинделів

Універсальні шпинделі функціонують плавно, без різких ударів. Основними елементами шарніра шпинделя є:

- головка шпинделя (1),
- лопать (2), яка встановлена на кінці робочого або шестеренного валка,
- бронзові вкладиші (3),
- сухар, що з'єднує ці компоненти.

Один шарнір шпинделя фіксується на кінці ведучого валу шестеренної кліті, а інший — з боку валка. Цей шарнір може переміщатися в осьовому напрямку під час руху верхнього валка вгору або вниз.

Універсальний шпиндель на підшипниках ковзання відрізняється високою міцністю елементів шарніра та компактними розмірами.

Під час роботи прокатного стану відстань між валками та кут нахилу шпинделя змінюються. У зв’язку з цим один із шарнірів виконує функцію "плаваючого" і може переміщатися в осьовому напрямку, тоді як інший залишається зафіксованим.

Універсальні шпинделі слябінгу представлені на рис 1.4. та 1.5.



Рисукок 1.4 – Шарнір універсального шпинделю



Рисунок 1.5 Універсальний шпиндельний пристрій

Під час роботи слябінгу шпиндельний пристрій відчуває значні динамічні навантаження через періодичне прикладення і зняття зусиль під час обтиску зливків. Універсальні шарніри пристрою забезпечують плавну передачу моменту навіть при змінному навантаженні, але їх довговічність залежить від стабільності цих навантажень.

Стан слябінгу працює в умовах високих температур, спричинених нагріванням оброблюваних зливків. Це створює ризик перегріву та зносу бронзових вкладишів, а також зменшення механічної міцності матеріалів шпинделя

Універсальні шпинделі компенсують зміщення осей валків, яке виникає через підйом або опускання верхнього валка. Це зменшує ризик перевантаження та пошкодження деталей пристрою. Однак при великих кутах нахилу шпинделя ефективність передачі обертання може знижуватись.

Бронзові вкладиші та сухарі шарнірів піддаються тертю, що призводить до поступового зношування. Для мінімізації цього ефекту використовується мастильна система, яка забезпечує плавний рух деталей і зменшує тертя.

Під час прокатки зливків передається значний крутний момент, особливо при обробці великих заготовок. Це вимагає високої міцності та жорсткості від шпиндельного пристрою.

Через складний характер навантажень (хитний або круговий рух валків) шпинделі повинні витримувати часті зміни напрямку обертання та швидкості.

Таким чином, шпиндельний пристрій слябінгу є ключовим елементом, який працює в складних умовах і потребує системного підходу до обслуговування та забезпечення довговічності.

1.5 Шляхи удосконалення механізмів шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь» на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень

Враховуючи вище зазначені умови роботи шпиндельного пристрою можна виділити кілька напрямків для удосконалення їх конструкції:

1. **Використання нових матеріалів**

Одним із перспективних напрямків є використання нових матеріалів, таких як спеціальні сплави, що мають підвищену зносостійкість і термостійкість. Наприклад, заміна бронзових вкладишів на сплави на основі міді з додаванням алюмінію, титану чи інших металів, що мають кращі характеристики зносостійкості та термостійкості [4].

2. **Покращення системи змащення**

Впровадження нових, більш ефективних систем змащення (наприклад, за допомогою безперервного подавання мастила під тиском) дозволяє зменшити тертя між підшипниками і підвищити їхню ефективність. Окрім цього, застосування спеціальних мастильних матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя може значно зменшити знос і температурні навантаження на шпиндель [5]

3. **Удосконалення конструкції підшипників**:

Удосконалення конструкції підшипників, зокрема перехід на підшипники з твердими покриттями (наприклад, з вуглецевими або керамічними елементами), може значно знизити зношування і збільшити термін служби шпинделя. Водночас важливо зберігати надійність роботи при великих навантаженнях і високих температурах.

4. **Використання сучасних технологій обробки деталей**

Застосування нових методів обробки, таких як лазерне загартування, електроерозійна обробка, а також нові методи зварювання та наплавлення, дозволяє підвищити міцність і зносостійкість окремих елементів шпинделя, що, у свою чергу, зменшує потребу в обслуговуванні і ремонтних роботах.

5. **Покращення конструкції шарнірів**

Враховуючи важливість шарнірних з'єднань, рекомендується розробка конструкцій шарнірів, які можуть адаптуватися до змінних умов роботи (наприклад, зміни кута нахилу шпинделя або зміни відстані між валками). Це дозволить зменшити навантаження на з'єднання і покращити їхню довговічність.

6. **Інтеграція систем автоматичного контролю та моніторингу**

Впровадження сучасних систем автоматичного контролю та моніторингу за роботою шпиндельних пристроїв дозволяє оперативно виявляти і усувати несправності, що виникають в процесі роботи. Завдяки цьому можна значно зменшити час на ремонт і обслуговування, а також поліпшити безпеку експлуатації.

Практика використання універсальних шпинделів в приводах прокатних станів свідчить про їхню недовговічність через швидке зношування вкладишів шарнірів ковзання. Причиною частих замін або аварійних відмов є надмірний зазор у вузлах клітей, таких як хвостовики робочих валків, шестеренні вали, муфти та редуктори.

Дослідження [6] присвячено питанням типів зносу в контактній зоні шарніра ковзання універсального шпинделя. Визначено місця підвищеного зносу та запропоновано спосіб виготовлення захисної плівки підвищеної твердості. Однак більш радикальне вирішення проблеми вирівнювання тиску на контактних поверхнях не розглядалося.

Альтернативні методи передачі крутного моменту, зокрема конструкції шпинделів з котушками або карданні передачі, мають зазори до 1,0-1,5 мм. Вони використовуються переважно в клітях для правильних і гнучких машин, а також на сортових і заготовочних станах. Проте через низьку здатність витримувати навантаження, ці конструкції не застосовуються в чорнових клітях листопрокатних і обтискних станів, де крутні моменти можуть досягати 3000–5000 кН·м.

Дослідження, представлені в роботі [7] присвячені визначенню зносу вкладишів шпинделя методом штучних баз. Отримані результати дозволяють оцінити розподіл сил, що діють на контактні поверхні шарніра. Недолік даного методу полягає в тому, що він не враховує можливість зниження тиску в зоні контакту.

Конструкція шпинделя з шаровою опорою розглянута в роботі [8] Для підвищення надійності шарніра досліджувалась тривимірна просторова модель. Спостерігається нерівномірний рух кулі та клиноподібна деформація в зачепленні, що перешкоджає використанню прогресивних з’єднань у високопродуктивних машинах.

Іншим способом подолання проблеми зносостійкості шпинделів є удосконалення конструкції вкладишів і з'єднувальних вузлів, щоб зменшити биття головок і валкових муфт. Під час передачі навантаження шпинделем в крайньому положенні з механічним зміщенням відносно центру валка, знос вкладишів і кутове ковзання пропорційні ексцентриситету, що виникає через зношування сухаря та вирізу на валковій муфті.

У дослідженні [9] причину відмови шпинделя та робочого валка досліджували за допомогою кінцево-елементного аналізу. Виявилося, що поломка почалася з поломки частини шпиндельної головки. Це підкреслює необхідність подальшого вивчення природи навантаження всередині петлі та важливість підвищення її надійності.

Дослідження, проведені на кафедрі МОЗЧМ ДонНТУ, показали, що знос вкладишів є основною причиною низького терміну служби шпинделів, особливо через традиційні конструкції з сухарем. На обтискних і листопрокатних станах

діаметри шпинделів можуть досягати 900–1000 мм, а знос вкладишів може сягати 5–8 мм і більше, що становить 60–70% від загального зазору, в залежності від конструкції приводу станів.

Проблеми з врівноваженням шпинделів, зокрема у разі використання пружинних, гідравлічних або противаг, здебільшого вирішують лише питання монтажу шпинделів і муфт. Однак під час прокатки різного сортаменту, коли змінюється розміщення валків і їх діаметри при перевалках, важко компенсувати вагу шпинделя. Дослідження показали, що навіть мінімальна вага шпинделя, яка не компенсована в межах ±5%, може значно збільшувати зазори при обертанні валків. Це може викликати великі динамічні навантаження і спричинити аварійні поломки, як шпинделя, так і інших частин обладнання.

1.6 Обґрунтування обраного напряму роботи

Шпиндельні пристрої під час експлуатації зазнають значних динамічних і статичних навантажень, що зумовлює високий рівень зношування їх елементів. Це може призводити до:

- зниження продуктивності слябінга;
- незапланованих простоїв через поломки обладнання;
- підвищення витрат на ремонт і технічне обслуговування.

Зношування деталей прокатного обладнання в основному зумовлене накопиченням незворотних пошкоджень, які можуть бути механічного характеру (наприклад, втома матеріалу, зношення, тріщини, пластичні деформації) або фізико-хімічного (корозія, ерозія, адсорбція).

Часто ці процеси мають комбінований характер. Усі ці явища можна описати за допомогою єдиної теорії, що пов’язує швидкість пошкоджень із навантаженнями та умовами експлуатації. Основна мета цієї теорії – створення простих методів розрахунку, які потребують мінімум експериментальних даних.

Тож, мета роботи полягає в створенні методики розрахунку зносу шпиндельних вкладишів, а також визначення впливу форми та розмірів поперечного перетину шпинделя на його втомну довговічність.

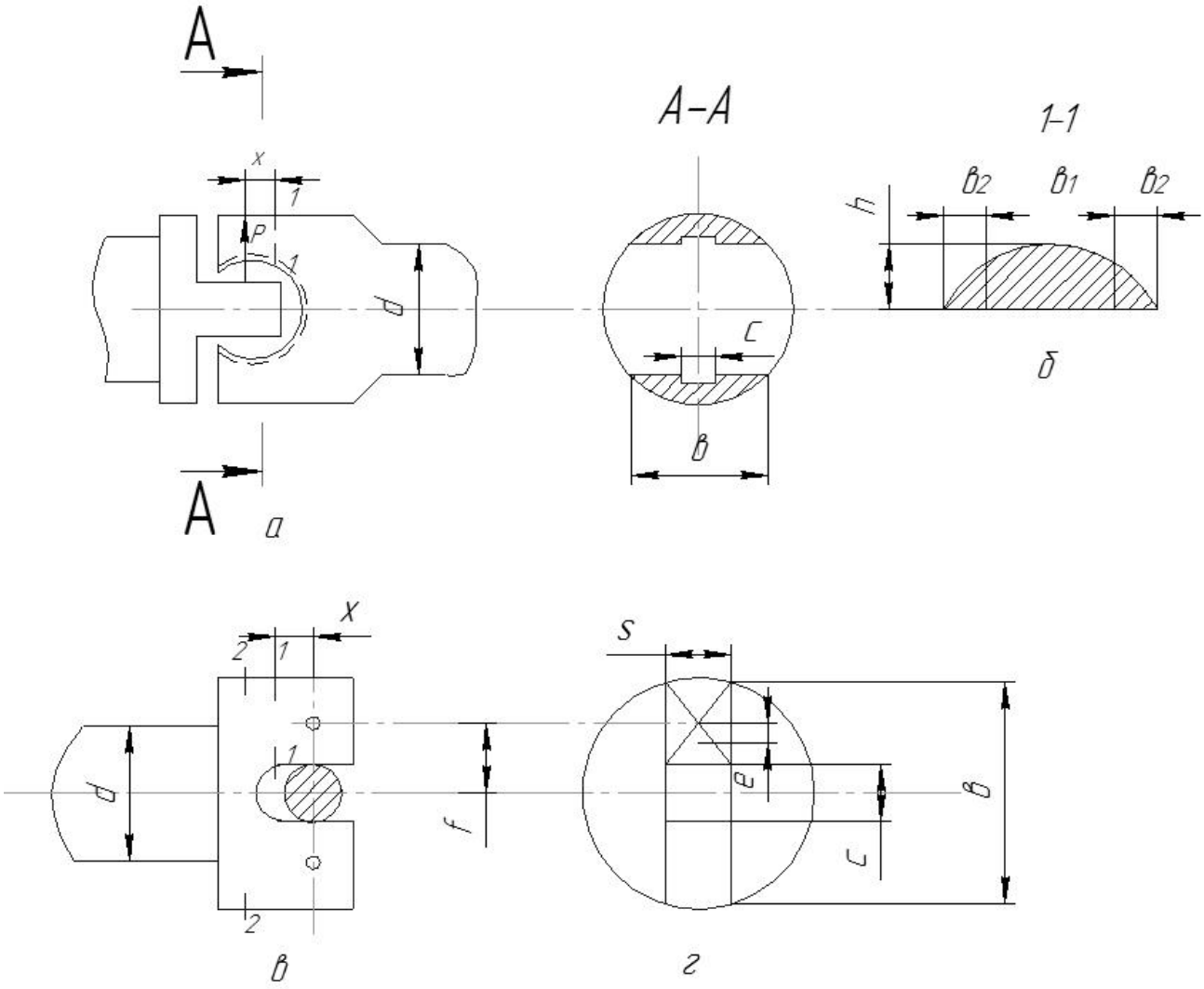
Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- вивчення конструктивних особливостей шпиндельних пристроїв;
- ознайомлення з досвідом експлуатації аналогічних механізмів у металургійній галузі;
- аналіз альтернативних конструкцій вузлів і використання сучасних матеріалів;
- розрахунок напружено-деформованого стану елементів шпиндельного пристрою під дією експлуатаційних навантажень;
- дослідження зносу та пошкоджень елементів шпиндельних пристроїв.

2. Розрахунок шпиндельного вузла універсальної кліті слябінгу 1150

2.1 Розрахунок універсального шпинделя

На рисунку 2.1 зображено схему сил, які діють на бокові поверхні головки шпинделя під час передачі крутного моменту Мкр. Кожна бокова поверхня піддається дії сили Р, що виникає внаслідок тиску лопаті на бронзовий вкладиш і передачі цього тиску через циліндричну поверхню контакту вкладиша зі стінками головки.



а–вилка шарніра; б–перетин вилки; в–лопасть валка; г–перетин лопасті

Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку універсального шпинделя

Крутний момент на шпинделі:

$$M_{кр} = P \cdot a, \tag{2.1}$$

де Р – зусилля тиску вкладишів відповідні щоку головок шпинделя;

a − відстань між точками додатка сил

$$\text{а} = 0{,}7 \cdot в.$$

Розподіл тиску вкладишів на щоку приймається за трапецеїдальним законом з прикладанням сили Р прикладена в площині центра ваги цієї трапеції.

Сила тиску вкладиша на щоку:

$$P = 1{,}43\frac{M_{кр}}{в}, \text{ кН} \tag{2.2}$$

$$P = 1{,}43\frac{2600}{0{,}9} = 4131 \text{ кН}.$$

Таким чином при передачі шпинделем крутного моменту в перетині щоки 1–1 на відстані х від осі шарніра будуть виникати напруження й від кручення, і від вигину.

Крутні напруження 1–1 дорівнюють:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{2 \cdot W_{кр}}, \text{ МПа}, \tag{2.3}$$

де $W_{кр}$ − момент опору крученню перетину 1–1

$$W_{кр} = \eta \cdot (в_1 + в_2) \cdot h^2, \text{ м}^3 \tag{2.4}$$

де η − поправочний коефіцієнт (при $\frac{в_1+в_2}{h}$ =2÷6 величина η =0,25÷0,3).

$W_{кр} = 0{,}25 \cdot (0{,}2 + 0{,}5) \cdot 0{,}33^2 = 0{,}019$ м^3.

Згинальне напруження в перетині щоки 1–1 дорівнює

$$\sigma = \frac{M_{виг}}{W_{зг}}, \text{ МПа} \qquad (2.5)$$

де $M_{виг}$ – момент опору перетину 1–1 на вигин.

$$M_{зг} = 1{,}43 \cdot \frac{M_{кр}}{в} \cdot x, \text{ кН· м}, \qquad (2.6)$$

$$M_{зг} = 1{,}43 \cdot \frac{2600}{0{,}9} \cdot 0{,}18 = 743{,}58 \text{ кН· м}.$$

Визначимо момент опору вигину перетину 1–1, м^3:

$$W_{зг} = \frac{3 \cdot в_1^2 + 6 \cdot в_1 \cdot в_2 + 2 \cdot в_2^2}{6 \cdot (3 \cdot в_1 + 4 \cdot в_2)} \cdot h^2, \qquad (2.7)$$

$$W_{зг} = \frac{3 \cdot 0{,}5^2 + 6 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}2 + 2 \cdot 0{,}2^2}{6 \cdot (3 \cdot 0{,}5 + 4 \cdot 0{,}2)} \cdot 0{,}33^2 = 0{,}11 \text{м}^3,$$

$$\sigma = \frac{743{,}58}{0{,}11} = 7{,}219 \text{ МПа}.$$

Розрахункове напруження в перетині щоки 1–1 від дії при сумісній дії згинання з крученням :

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau} \leq [\sigma], \text{ МПа} \qquad (2.8)$$

де $[\sigma] = \frac{\sigma_в}{5}$

Для сталі марки 40 $\sigma_в = 650$МПа, отже $[\sigma] = \frac{650}{5} = 130$МПа.

$$\sigma_p = \sqrt{7{,}219^2 + 3 \cdot 68{,}4^2} = 118{,}6\text{МПа}$$

118,6 Мпа < 130 Мпа

Умова виконується, отже, міцність забезпечується.

Окрім аналізу напружень у перетині 1–1, необхідно провести перевірку напружень у середній частині шпинделя вздовж його довжини. Очевидно, що основне навантаження на тіло шпинделя – це крутний момент, тому напруження в будь-якому поперечному перерізі між його шарнірами визначатиметься наступним чином:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}} = \frac{M_{кр}}{0{,}2 \cdot d}, \text{ МПа} \qquad (2.9)$$

де d − діаметр тіла шпинделя.

$$\tau = \frac{2600}{0{,}2 \cdot 0.55} = 23{,}63 \text{ МПа}$$

При розрахунку лопасті прийнято, що питомі тиски від вкладиша розподіляються на поверхні кожної вилки по трапеції й тиск P_1, що діє на вилку при передачі лопастю крутного моменту $M_{кр}$, дорівнює:

$$P_1 = 1{,}43 \frac{M_{кр}}{в_0}, \text{ кН} \qquad (2.10)$$

$$P_1 = 1{,}43 \frac{2600}{1} = 3540 \text{ кН}.$$

Сила P_1 буде скручувати перетин вилки моментом:

$$M = P_1 \cdot e \text{ , кН} \cdot \text{ м} \qquad (2.11)$$

де e − ексцентриситет прикладення сили P_1 щодо центра ваги перетину вилки.

$$M = 3540 \cdot 0{,}03 = 106{,}2\text{кН}\cdot\text{м}$$

Напруження кручення в перетині 1–1 дорівнює:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}} = 1{,}43 \cdot \frac{M_{кр}}{W_{кр}} \cdot \frac{e}{в_0}, \text{МПа} \qquad (2.12)$$

де $W_{кр}$ − момент опору перетину 1–1 вилки лопасті,

$$W_{кр} = \eta \cdot \left(\frac{в_0 - c_0}{2}\right) \cdot s^2 = \frac{3}{8} \cdot \eta_0 \cdot в_0 \cdot s^2, \text{м}^3 \qquad (2.13)$$

$$W_{кр} = \frac{3}{8} \cdot 0{,}25 \cdot 1 \cdot 0{,}32^2 = 0{,}0096 \text{ м}^3,$$

$$\tau = 1{,}43 \cdot \frac{2600}{0{,}0096} \cdot \frac{0{,}03}{1} = 11{,}61\text{МПа}.$$

Згинальні напруженя в перетині вилки 1–1 визначаються за формулою:

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W_{изг}}, \text{МПа} \qquad (2.14)$$

де $M_{изг}$ − згинальний момент у перетині 1–1, кН м ;

$$M_{изг} = P_1 \cdot x \ , \qquad (2.15)$$

$$M_{изг} = 3540 \cdot 0{,}18 = 283{,}2\text{кН}\cdot\text{м}$$

$W_{изг}$ − момент опору вигину прямокутного перетину вилки лопасті, $м^3$

$$W_{изг} = \frac{в_0 - c_0}{12} \cdot s^2 = \frac{1}{16} \cdot в_0 \cdot s^2, \quad (2.16)$$

$$W_{изг} = \frac{1}{16} \cdot 1 \cdot 0{,}32^2 = 0{,}0064 \text{м}^3 .$$

$$\sigma = \frac{283{,}2}{0{,}0064} = 44{,}22 \text{МПа}.$$

Також необхідно провести розрахунок напружень у 2–2.

Цей перетин передає повний крутний момент $M_{кр}$ й у ньому виникають тільки крутні напруження:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}} \leq [\tau] \quad (2.17)$$

де $W_{кр}$ – момент опору на кручення, м^3;

$$W_{кр} = \eta_0 \cdot в_0 \cdot s^2, \quad (2.18)$$

$$W_{кр} = 0{,}25 \cdot 1 \cdot 0{,}32^2 = 0{,}025 \text{м}^3,$$

$[\tau]$ – допустимі крутні напруження, МПа

$$[\tau] = 0{,}6[\sigma] = 0{,}6 \cdot 130 = 74 \text{МПа}$$

$$\tau = \frac{2600}{0{,}025} = 10{,}4 \text{ МПа},$$

$$10{,}4 \text{ МПа} < 74 \text{ МПа}$$

За всіма розрахунками умови міцності забезпечуються.

2.2 Розрахунок на стійкість стрижня пружинного зрівноважування шпинделя

Площа стрижня:, мм^2:

$$F = \pi \cdot R^2, \tag{2.19}$$

де R– радіус перетину стрижня, R=31 мм.

$F = 3{,}14 \cdot 31^2 = 3017{,}54$ мм^2

Визначимо момент інерції перетину, мм^4:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \tag{2.20}$$

$J = \frac{3{,}14 \cdot 62^4}{64} = 724963{,}98$м^4.

Визначаємо радіус інерції, мм:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}}, \tag{2.21}$$

$i = \sqrt{\frac{724963{,}985}{3017{,}54}} = 15{,}5$мм

Знаходимо наведену довжину стрижня, мм:

$$l_{пр} = \nu \cdot \ell \tag{2.22}$$

де ν– коефіцієнт приведення довжини;

l – фактична довжина стрижня, . l =1200 мм.

$l_{пр} = 2 \cdot 1200 = 2400$мм

Визначаємо гнучкість стрижня:

$$\lambda = \frac{\nu \cdot \ell_{ПР}}{i}, \qquad (2.23)$$

$\lambda = \frac{2400}{15,5} = 154,8.$

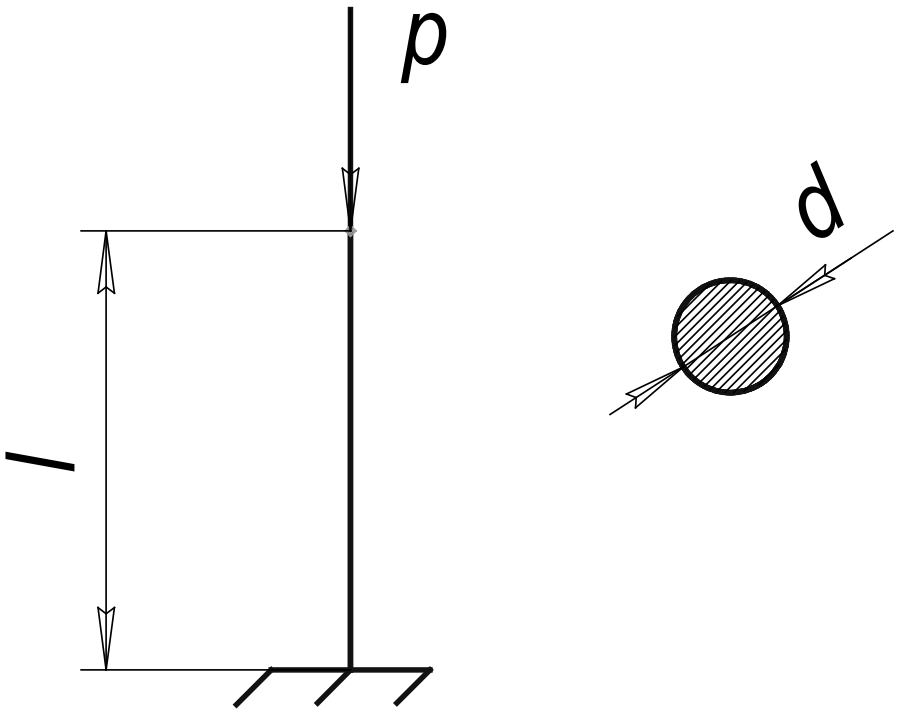


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку стрижня на стійкість

По таблиці інтерполяцій знаходимо значення коефіцієнта зменшення основні напруги, що допускаєтьсяϕ– =0,32.

Знаходимо допустиме напруження на стійкість, МПа:

$$[\sigma]_y = \phi \cdot [\sigma_], \quad (2.24)$$

де $[\sigma_]$ – допускаєме напруження, на міцність при стиску ($[\sigma_]$ =160 МПа для Ст. 35).

$[\sigma]_y = 0{,}32 \cdot 160 = 51{,}2$ МПа

Визначаємо дійсну напругу по формулі:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \text{ МПа} \quad (2.25)$$

де Р– зусилля діюче на стрижень.

$\sigma = \frac{130000}{30{,}1754 \cdot 10^{-4}} = 43{,}08$ МПа

В зв′язку з тим що $\sigma = 43{,}08$ МПа < 51,12 МПа стійкість стрижня забезпечується.

ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Опис лабораторної установки

Зважаючи на складнощі дослідження шпиндельного вузла стану слябінг 1150 в умовах Прат «Запоріжсталь» в умовах виробництва через особливості функціонування підприємства, дослідження роботи вузла здійснюється на лабораторній моделі обтискного стану, виготовленої в масштабі 1:0 до реального стану, що імітує роботу заводського обладнання . Загальний вид лабораторного стану представлений на рис.3.1



Рисунок 3.1 - Загальний вид лабораторної моделі обтискного стану.

Технічні параметри моделі:

- головний електродвигун: АО-62-8 потужність 10 кВт;

- редуктор привода РЧП – 180 з міжсьовою відстанню 180 мм та однозахідним черв'яком;

- шестеренна кліть:

- окружна швидкість валків, 0,2 1/с;
- число зубів валка – 25;
- модуль - 10 мм;
- кут нахилу шевронних зубів - 30 ;
- міжосьова відстань А - 250 мм;
- матеріал шестеренних валків 40ХН;
- тип змащування - рідинне картерне;
- тип підшипників – кочення;

-з'єднуючий пристрій:

- діаметр тіла шпинделя -48 мм;
- діаметр головки шпинделя -70мм;
- максимальний кут нахилу α - 8-10 град
- довжина шпинделя - 1100 мм
- тип зрівноважування -пружинне
- матеріал шпинделів – Сталь 45.

-установочний механізм:

- тип- гвинтовий
- швидкість пересування верхнього валка - 2 мм/с$^{-1}$
- тип врівноважування верхнього валка- пружинне
- максимальна висота підйому - 200, мм.

-прокатні валки:

діаметр бочки -95 мм

- діаметр шийки -60 мм
- довжина шийки вала 90 мм

- матеріал - сталь 40ХН.

Вимірювання крутних моментів здійснюється датчиками, що наклейні на тіло шпинделя під 45° до осі вала, які живляться струмоз’ємними кільзями (рис. 3.2).



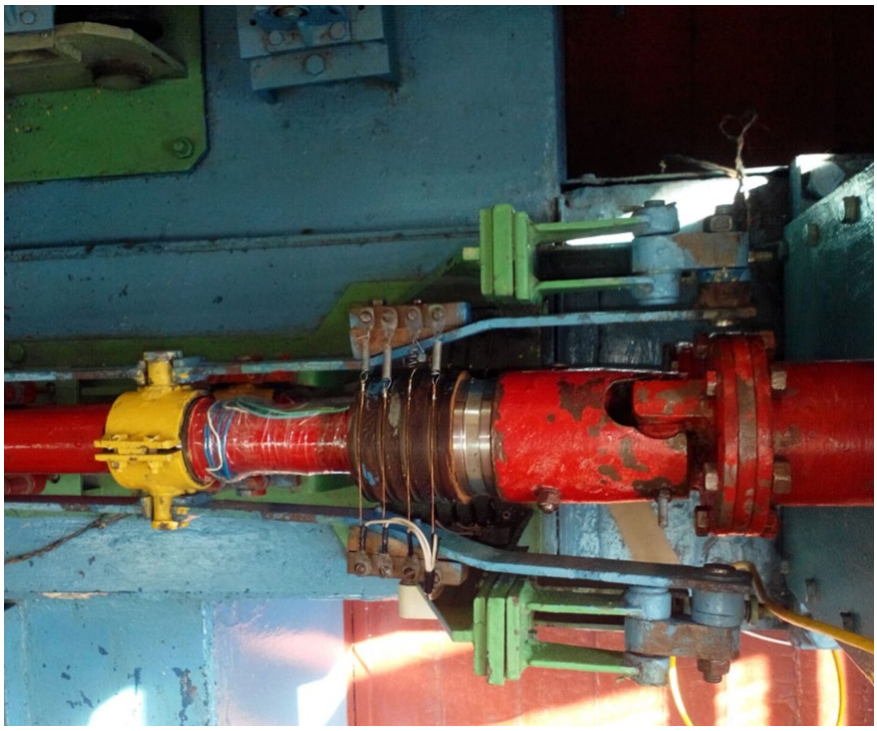


Рисунок 3.3 - Фотографія тензометричної і реєструючої апаратури

3.2 Дослідження впливу форми та розмірів поперечного перетину шпинделя на його втомну довговічність

Більшість раптових поломок деталей (понад 80%) пов’язані з втомлюваністю матеріалів. Це робить запобігання таким руйнуванням важливим завданням для приводів прокатних станів.

Розрахунок втомної міцності проведено для валу шпинделя лабораторного прокатного стану.

Втомні тріщини зазвичай з'являються на поверхні валу, але іноді вони можуть виникати й всередині матеріалу. У процесі розвитку тріщини зменшується площа поперечного перерізу валу, що може призвести до його раптового руйнування. На поверхні втомного зламу валу шпинделя можна побачити дві помітні зони: гладку — яка виникає через поступове розширення тріщини, та грубозернисту — яка є наслідком раптового руйнування.

Оцінка втомної міцності проводиться за наступним алгоритмом:

1) Визначається теоретичний коефіцієнт концентрації дотичних напружень в небезпечному перетині α_τ за співвідношенням $D_ш/d_ш$ та $\rho/D_ш$ по номограмі, представленій на рис.3. 3, де $D_ш$ — діаметр головки шпинделя, $d_ш$ — діаметр вала шпинделя, ρ — радіус кривизни (галтель шпинделя).

2) Визначається градієнт, що характеризує швидкість спадання напружень по мірі віддалення від місць їх концентрації.:

$$\overline{G_\tau} = \frac{\alpha}{\rho} + \frac{2}{d}, \qquad (3.1)$$

де $a = 1$ — для для запобіжного шпинделя і $a = 1{,}15$ — для універсальних шпинделей.

Чим вищий коефіцієнт, тим менша імовірність тріщини в цьому місці. градиент, характеризующий скорость убывания напряжений по мере удаления от места их концентрации:

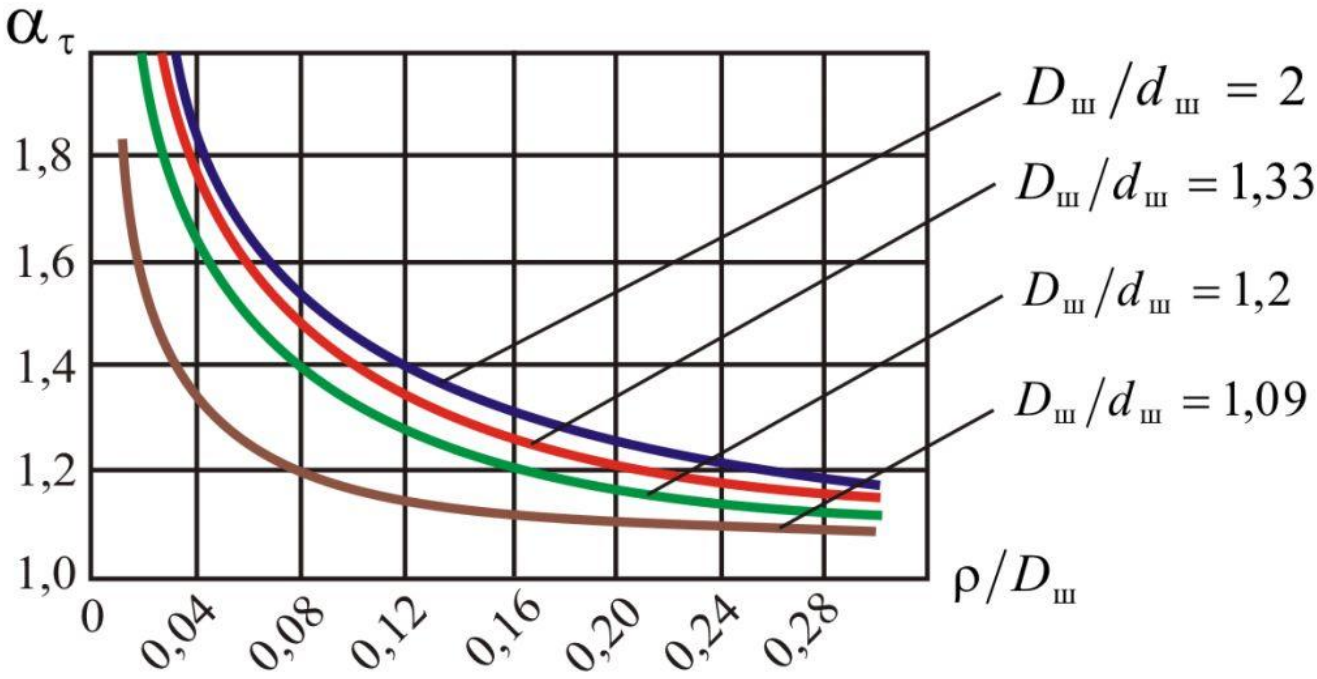


Рисунок 3. 4- Номограма для визначення коефіцієнту концентрації.

3) Визначається параметр рівняння подібності втомного руйнування, що характеризують чутливість до концентрації напруги і масштабний коефіцієнт, визначені. Чим більше значення параметру, тим менш чутлива до концентрації навантажень і тим більш виражений масштабний коефіцієнт.

Сумарний коефіцієнт враховує вплив чотирьох факторів на межу витривалості:

$$K_\Sigma = \left(\frac{\kappa_\tau}{\varepsilon_\tau} + \frac{1}{\beta} - 1\right)\frac{1}{\beta_{упр}}, \qquad (3.2)$$

де β — коефіцієнт якості обробки поверхні деталі;

$\beta_{упр}$ — коефіцієнт зміцнення поверхні.

Для лабораторного стану за відношенням $D_ш/d_ш = 1,5$ та $\rho/D_ш = 0,13$ визначаємо теоретичний коефіцієнт концентрації дотичних напружень

$$\alpha_\tau \approx 1,38$$

Градієнт швидкості спадання напружень :

$$\boldsymbol{G} = \frac{1{,}15}{\rho_{\text{г.шп}}} + \frac{2}{d_{\text{шп}}} = 0{,}18\ \frac{1}{\text{мм}}$$

Межа витривалості шпинделя в небезпечному перетині:

$$\tau_{-1\ \text{шп}} = \frac{\tau_{-1}}{\left[\frac{2\ \alpha_\tau}{1 + \left(88{,}3\,\frac{\boldsymbol{G}}{L}\right)^{\nu_\tau}} + \frac{1}{\beta_м} - 1\right]\frac{1}{\beta_y}} \approx 90\ \text{МПа},$$

где τ_{-1} — межа витривалості матеріалу при знакозмінному крученні, для сталі 45 $\tau_{-1} = 140$ МПа;

ν_τ — коефіцієнт чутливості матеріалу до концентрації напружень і масштабного фактора, для сталі 45$\nu_\tau = 0{,}22$;

$\beta_{\text{м}}$ — коефіцієнт якості механічної обробки поверхні шпинделя, $\beta_м = 0{,}88$;

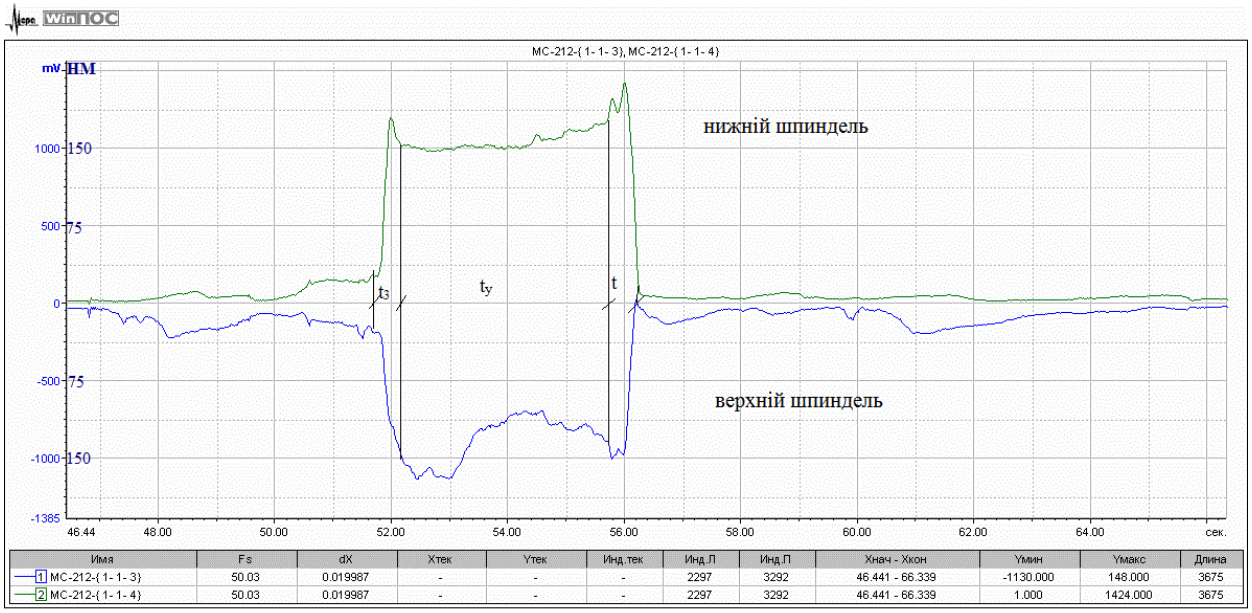
$\beta_{\text{у}}$ — коефіцієнт зміцнення поверхні шпинделя, $\beta_y = 1{,}2$.

Втомне руйнування шпинделя відбувається, коли в його небезпечному перерізі виникають змінні напруги, амплітуди яких перевищують межу витривалості.

Осцилограми, отримані на діючій моделі обтискного стану під час прокатки свинцевих зразків представлені на рис.3.4.-3.5

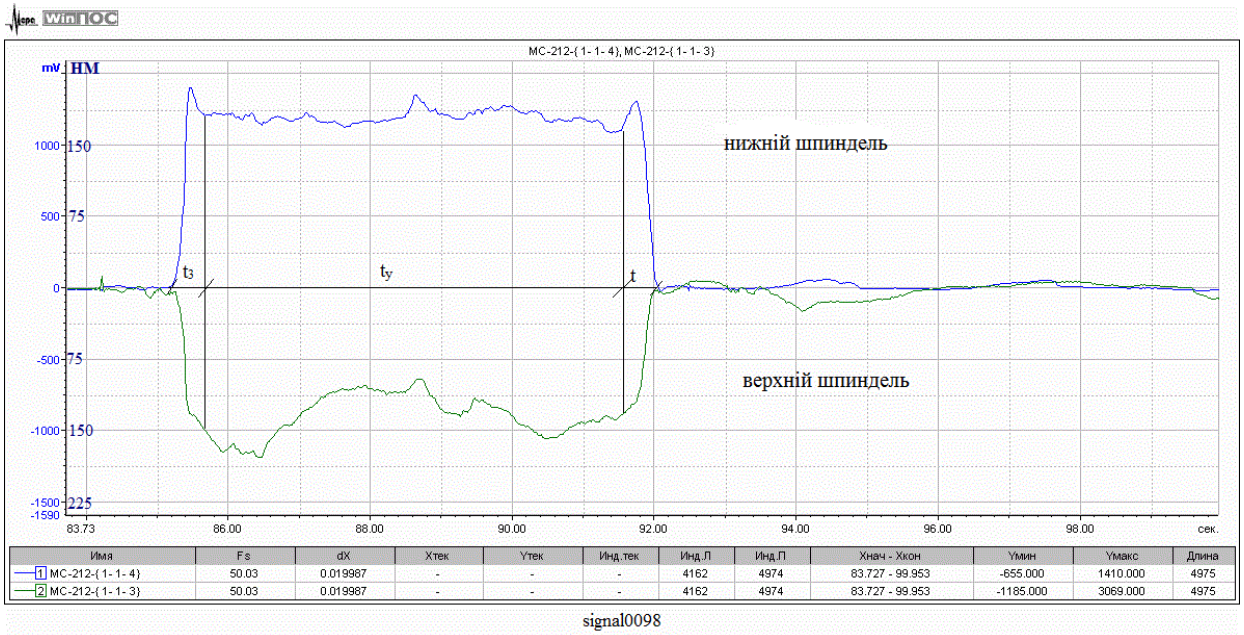
Отримані осцилограми показують, що нижній шпиндель є більш навантажений,тому подальшу обробку осцилограми проводимо саме для нього.

Процес прокатки заготовки триває менш як 0,16 с. Перехідний процес, що супроводжується ударним додатком навантаження під час захоплення заготовки робочими валками, триває менше 0,1 с. На осцилограмі чітко видно виразні піки моментів, які виникають через замикання зазорів у з'єднаннях.



signal0097

Рисунок 3.4 – Осцилограма крутних моментів при прокатці.



signal0098

Рисунок 3.5 - Осцилограма моментів на шпинделях при 2-му проході зразка

Перехід від крутного моменту $M_{кр.шп}$, прикладеного до валу шпинделя, до дотичних напруг $\tau_{шп}$, що діє в небезпечному поперечному перерізі валу, здійснюється за формулою:

$$\tau_{\text{шп}} = \frac{M_{\text{кр.шп}}}{W_p} = \frac{M_{\text{кр.шп}}}{0{,}2\ d_{\text{шп}}^3} = \frac{M_{\text{кр.шп}}}{0{,}2 \cdot 0{,}048^3} = 23\ 150 M_{\text{кр.шп}}\ \left[\frac{H}{м^2} = \text{Па}\right],$$

де W_p- полярний момент опору круглого поперечного перерізу валу шпинделя кручення;

$d_{\text{шп}}$- діаметр валу шпинделя,

На осцилограмі видно, що нашпиндель діють асиметричні щодо осі абсцис цикли напруження .

Зазначена методика оцінки втомної довговічності базується на гіпотезі підсумовування пошкоджень, спричинених симетричними циклами, оскільки такі цикли напружень виникають у гладкому лабораторному зразку під час втомних випробувань на спеціалізованій випробувальній машині, що проводяться для визначення межі витривалості. Для подальшої оцінки втомної довговічності шпинделя кожен асиметричний цикл перетворюється на симетричний за допомогою формули:

$$\tau_{\text{пр}} = \tau_a + \psi_\tau \tau_m, \tag{3.3}$$

де τ_α- амплітуда циклу,

τ_m- середнє напруження циклу,

ψ_τ- коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу, для вуглецевої сталі 45 $\psi_\tau = 0{,}05$.

$$\tau_\alpha = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2},$$

$$\tau_m = \tau_{\max} - \tau_a = \tau_{\min} + \tau_a = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2}.$$

Ідеальний цикл складається з двох однакових за величиною розмахів (напівциклів), як цикл ABCз розмахами $\text{BA} = \text{BC}$, а на осцилограмі цикли напружень, що виникають, далеко не ідеальні. Так як розмахи напівциклів не

однакові, тому будемо розглядати окремі укрупнені розмахи, кожен з яких має свою максимальну $\tau_{\max}$, мінімальну τ_{min}, амплітудне τ_{α}т а середне τ_m напруження. Для цього складено таблицю результатів обробки осцилограми (табл. 3.2) методом повних .

Таблиця 3.1 -Результати обробки осцилограми

Цикл, Н·м $M_{\min} \xleftarrow{\text{размах}} M_{\max} \xrightarrow{\text{размах}} M_{\min}$	НапруженняМПа				
	$\tau_{\max}$	$\tau_{\min}$	τ_{α}	τ_m	$\tau_{\text{пр}}$
$580 \xleftarrow{20} 600 \xrightarrow{20} 580$	13,89	13,43	0,23	13,66	0,91
$603 \xleftarrow{53} 656 \xrightarrow{53} 603$	15,19	13,96	0,62	14,58	1,35
$528 \xleftarrow{98} 626 \xrightarrow{98} 528$	14,49	12,22	1,14	13,36	1,80
$467 \xleftarrow{226} 693 \xrightarrow{226} 467$	16,04	10,81	2,62	13,43	3,29
$264 \xleftarrow{512} 776 \xrightarrow{512} 264$	17,96	6,11	5,93	12,04	6,53
$0 \xleftarrow{1040} 1040 \xrightarrow{1040} 0$	24,08	0	12,04	12,04	12,64

За отриманими результатами видно, що найбільша приведена до симетричного циклу амплітуда $\tau_{\text{пр. max}}$= 12,64 МПа, що набагато нижче за межу витривалості шпинделя $\tau_{-1\ \text{шп}} = 90$ МПа

Крива Велера описується рівняннями

$$N_i = \begin{cases} \frac{\tau_{-1\ \text{шп}}^{m_\alpha} N_0}{\tau_{\text{пр}\ i}^{m_\alpha}} & \text{при} \quad \tau_{\text{пр}\ i} > \tau_{-1\ \text{шп}} \\ \infty & \text{при} \quad \tau_{\text{пр}\ i} \le \tau_{-1\ \text{шп}} \end{cases} \tag{3.4}$$

Параметр кута нахилу лівої ділянки кривої Веллера:

$$m_\alpha = \text{ctg}\alpha_{\text{нклкр}} = \frac{\lg N_0 - \lg N_i}{\lg \tau_{\text{пр}\ i} - \lg \tau_{-1\ \text{шп}}},$$

е $\alpha_{\text{нклкр}}$- кут нахилу лівої ділянки кривої;

$\tau_{\text{пр}\ i}$- наведена до симетричного циклу амплітуда i −го циклу, звідки

$$\lg\frac{N_0}{N_i} = \left(\lg\frac{\tau_{\alpha i}}{\tau_{-1\ \text{шп}}}\right) m_\alpha;$$

$$\frac{N_0}{N_i} = \frac{\tau_{\text{пр}\ i}^{m_\alpha}}{\tau_{-1\ \text{шп}}^{m_\alpha}}.$$

Крива руйнування для шпинделя в логарифмічних координеатах має дві прямолінійні ділянки та одну точку перегину (рис. 3.6). По осі абсцис відкладено десяткові логарифми від чисел циклів напружень N, а по осі ординат — десяткові логарифми від наведених до симетричного циклу амплітуд дотичних напруг $\tau_{\text{пр}}$. Координати точки перегину такі: межа витривалості шпинделя $\tau_{-1\ \text{шп}} = 90$ МПа; число циклів напруг, що відповідає точці перегину кривої втоми $N_0 = 2 \cdot 10^6$. Параметр $m_\alpha = 5{,}7$характеризує нахил лівої ділянки кривої.

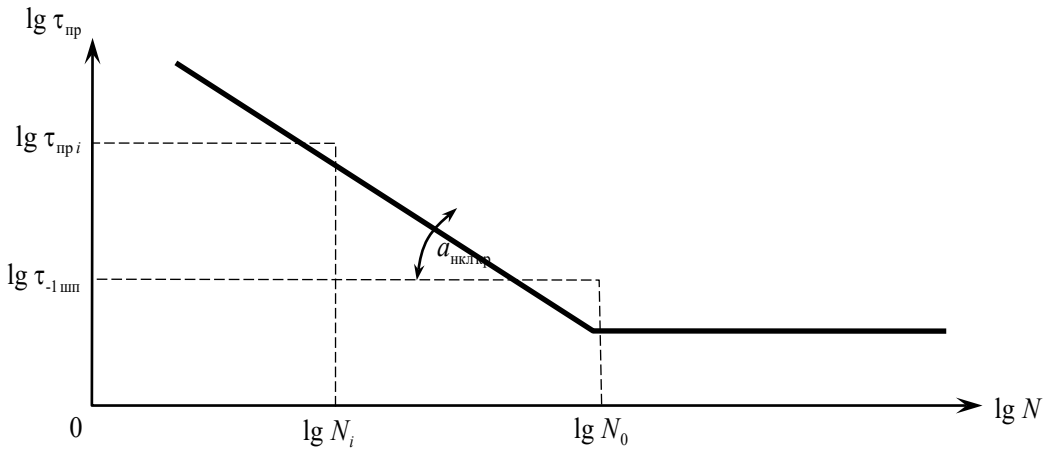


Рисунок 3.6 – Крива руйнування шпинделя в небезпечному

3.3 Дослідження зношування кладишів шпиндельного пристрою

Зношування є одним з найважливіших факторів, що обмежують термін служби машин та механізмів. Воно являє собою поступове руйнування поверхневих шарів матеріалу деталей внаслідок тертя, що супроводжується зміною їх геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей.

Механізми зношування:

- Абразивне зношування: Виникає внаслідок різання поверхні твердими абразивними частинками, що містяться в мастилі або робочому середовищі.
- Адгезійне зношування: Зв'язане з утворенням і руйнуванням міжатомних зв'язків між контактуючими поверхнями, що призводить до перенесення матеріалу з однієї деталі на іншу.
- Втомне зношування: Розвивається внаслідок багаторазового циклічного навантаження поверхневих шарів, що призводить до утворення мікротріщин та їх подальшого зростання.
- Корозійне зношування: Виникає під впливом корозійно-активних середовищ, що прискорюють процес руйнування матеріалу.
- Кавітаційне зношування: Характерне для деталей, що працюють в рідинах, і пов'язане з утворенням та спалахом кавітаційних бульбашок.
- Ерозійне зношування: Виникає внаслідок бомбардування поверхні твердими частинками, що рухаються з великою швидкістю.

Для прогнозування терміну служби деталей машин проводяться розрахунки зношування на основі емпіричних залежностей та фізико-механічних моделей.

Залежність зношення з часом представлена на рис.3.7.

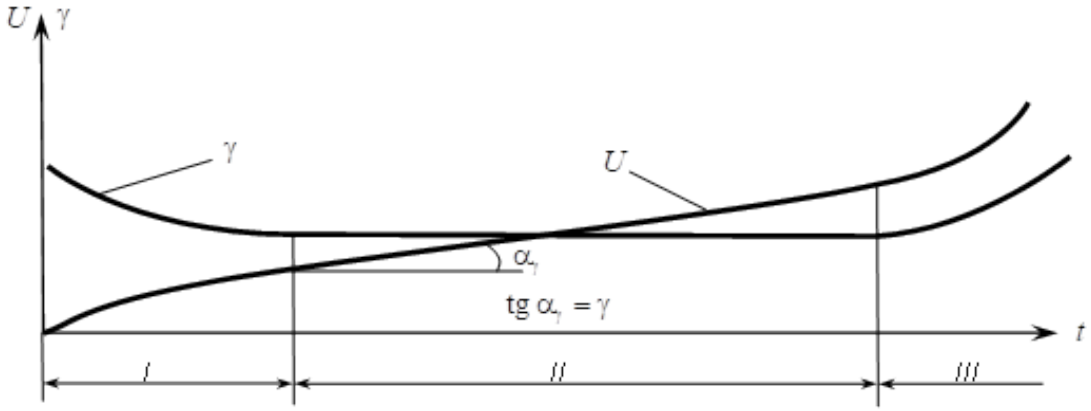


Рисунок 3.7 Зміна зносу і швидкості зношування у часі : I – період приробotки; II – період встановленого зносу; III - період катастрофіченого зношування.

Період I – притаманий несталому режиму зношування. Характеризується вираженою швидкістю зношування, яка монотонно зменшується до одного значення. $\gamma = \text{const}$.

Період II – відповідає процесу нормальної експлуатації . Даний період найтриваліший за часом.

У період нормальної експлуатації (період II) типова залежність зносу U від часу t має вигляд:

$$U = \gamma t, \tag{3.5}$$

де γ - швидкість зношування.

Період III відповідає катастрофічному характеру зношування, коли його швидкість різко зростає.

У більшості випадків середня швидкість зносу залишається постійною. Наприклад, корозійно-механічний знос може знизити швидкість. Підвищена вібрація, кількість ударів і температура збільшують знос.

Знос зі змінною швидкістю зазвичай апроксимується параболою типу :

$$t(U) = u_1 + u_2 U + u_3 U^2. \quad (3.6)$$

Параметри параболи зносу u_1визначають u_2з u_3рівнянь, отриманих методом найменших квадратів:

$$u_1 n_u + u_2 \sum_{i=1}^{n_u} U_i + u_3 \sum_{i=1}^{n_u} U_i^2 = \sum_{i=1}^{n_u} t_i$$

$$u_1 \sum_{i=1}^{n_u} U_i + u_2 \sum_{i=1}^{n_u} U_i^2 + u_3 \sum_{i=1}^{n_u} U_i^3 = \sum_{i=1}^{n_u} U_i t_i$$

$$u_1 \sum_{i=1}^{n_u} U_i^2 + u_2 \sum_{i=1}^{n_u} U_i^3 + u_3 \sum_{i=1}^{n_u} U_i^4 = \sum_{i=1}^{n_u} U_i^2 t_i^2$$

де n_u- число вимірювань (спостережень).

В окремому випадку можлива апроксимація параболою вид:

$$\text{у } t(U) = u_3 U^2 \quad (3.7)$$

що проходить через початок координат, або параболою:

$$t(U) = u_1 + u_3 U^2. \quad (3.8)$$

Можлива також апроксимація кубічною параболою.

Розробимо оцінку визначення величини зношування вкладишів універсального шпинделя, розрахункова схема якого представлена на рис. 3.8.

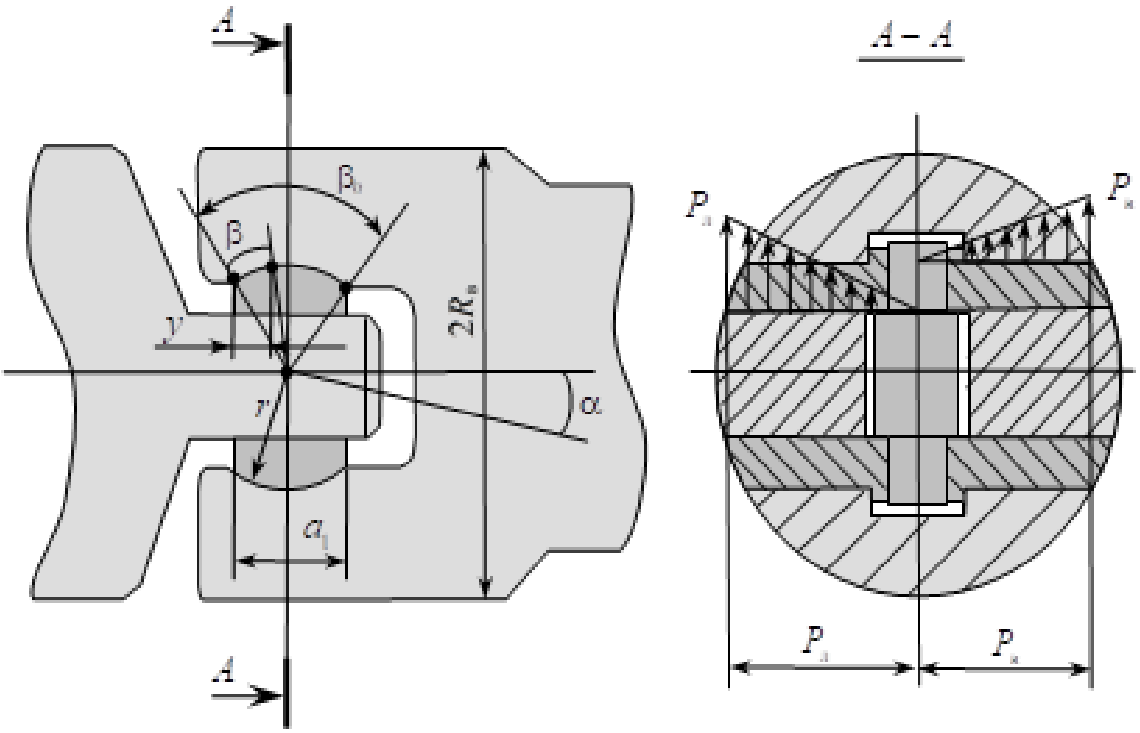


Рисунок 3.8 – Схема до розрахунку зношування вкладишів шпинделя.

Швидкості ковзання лопаті по вкладишу 1 і вилки 2 по вкладишу змінюються за наступними залежностями:

$$\upsilon_1 = \frac{\omega\ \rho\ \cos\alpha\ \mathrm{tg}\alpha}{1+\sin^2\phi\ \mathrm{tg}^2\alpha};$$
$$\upsilon_2 = \frac{\omega r\ \sin\phi\ \mathrm{tg}\alpha}{\sqrt{1+\sin^2\phi}\,\mathrm{tg}^2\alpha} \qquad (3.9)$$

де ϕ и ω - кут повороту і кутова швидкість валу шпинделя;

α - кут нахилу осі шпинделя до осі валка;

ρ - Відстань від центру шарніра до тієї точки поверхні лопаті, для якої визначається швидкість ковзання;

r - Радіус розточування гнізда вилки.

Середня швидкість ковзання лопаті по вкладишу:

$$\upsilon_{1ср} = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi/2} \upsilon_1 d\phi = \frac{2}{\pi}\ \alpha\omega\rho. \quad (3.10)$$

Максимальне значення близько до радіусу $R_в$вилки, який, у свою чергу, приблизно дорівнює мінімальному радіусу бочки робочого валка, тому максимальне значення середньої швидкості ковзання:

$$\upsilon_{1\text{ср}}^{\max} = \frac{2}{\pi}\alpha\omega R_в \approx \frac{2}{\pi}\alpha V_{\text{пр}}, \quad (3.11)$$

де $V_{\text{пр}}$- швидкість прокатки.

Швидкості прокатки на сучасних прокатних станах, де використовуються універсальні шарніри, знаходяться в межах $V_{\text{пр}}$= 1 ... 10 м/с, а кути нахилу $\phi_2$1 ... 8 °, причому меншій швидкості, як правило, відповідають великі кути, і навпаки. Отже, $\upsilon_{1\text{ср}}$= 0,02...0,2 м/с.

Середня швидкість ковзання вилки за вкладкою:

$$\upsilon_{2\text{ср}} = \frac{2}{\pi}\int_0^{\pi/2} \upsilon_2\, d\phi = \omega r\sin\alpha \approx \omega r\alpha \quad (3.12)$$

Тиск у будь-якій точці контакту вкладиша з вилкою ϕ_3та вкладиша з лопатю p_1можна визначити приблизно за формулами:

$$p_2 = \frac{2{,}65M_{\text{кр}}}{{B_2}^2 d\beta_0}(1 + \sin\beta\cos^2\beta)(1 - x/B_2),$$
$$p_1 = \frac{1{,}8M_{\text{кр}}}{{B^2}_1 a}(1 - x/B_1)(1 - y/2{a_1}^2) \quad (3.13)$$

де $\text{M}_{\text{кр}}$- момент, що передається шарніром;

x, y, z - поточні координати точок поверхні тертя вкладиша;

B_1, B_2- розміри по довжині вкладиша на контакті з лопаттю і вилкою,

a_1- ширина вкладиша;

β_0- центральний кут, що відповідає дузі контакту вкладиша зі щокою вилки;

$d = 2r$- діаметр розточування гнізда вилки.

Максимальні значення контактних тисків відповідно дорівнюють:

$$p_2^{\max} = \frac{3{,}65M_{кр}}{B_2^{\,2} d\beta_0} \quad \text{при} \quad x = 0,\ \beta = 35^o 15',$$

$$p_1^{\max} = \frac{1{,}8M_{кр}}{B^2{}_1 a_1} \quad \text{пр } u \quad x = y = 0 \qquad (3.14)$$

Наведені залежності $M_з$і pдозволяють оцінити швидкість зношування γвкладишів, де константи m_1, m_2і визначаються експериментально, для більшості універсальних шарнірів шпиндельних з'єднань прокатних станів максимальне лінійне зношування поверхонь тертя лежить в межах 0,5 ... 15 мм на місяць. Це відповідає швидкості зносу γ = (0,2...8) 10 мм/с.

Можна визначити межі зміни середнього обороту максимальної швидкості ковзання лопаті по вкладишу при зазначених вище межах (1... 10 м/с) швидкостей прокатки: M_n= 20 ... 200 мм/с.

Відповідно інтенсивність зношування перебуватиме в межах

$J = \gamma / v_{1cc}^{\max} = 10^{-6} \ldots 10^{-8}$.

Проведемо розрахунок зношування поверхні вкладиша шарніра горизонтальних валків стана 1150.

Вихідні дані :

- матеріал вкладиша - бронза Бр.АЖ 9-4;

- чистота обробки - 6-й класс;

- механічні характеристики матеріалу вкладиша: $\sigma_т$= 200 МПа;

δ =0,15;

НВ = 1300 МПа;

f = 0,04.

- показник ступеня кривої фрикційної втоми m = 2;

- характеристика мікрогеометрії поверхні Δ = 0,18;

- показник ступеня кривої опорної площі M_1= 1,65;

- номінальне значення крутного моменту $M_{кр}$= 1,15 МНм;

- швидкість прокатки V_n= 1,8 м/с;

- відношення контурної площі до номінальної $\eta к$ = 0,7;

- геометричні характеристики шарніра: ширина вкладки a 1= 235 мм;

- напівдовжина вкладиша B = 350 мм;

- кут перекосу осей валка та шпинделя α = 1 ° 20 '.

Для значень $M_1 = M_3 + M_4$= 1,65 та m = 2 знаходимо C = 0,074. Максимальне значення контактних тисків p = 72 МПа.

Максимальне значення середньої швидкості ковзання $\upsilon_{1ср}{}^{max}$= 0,026 м/с.

Підставивши значення $p_1{}^{max}$ $\upsilon_{1ср}{}^{max}$, Отримаємо значення максимальної інтенсивності та швидкості зношування:

$J_1{}^{max} = \upsilon_{1сс}{}^{max} 25{,}5.10^{-6} = 66{,}4.10^{-8}$ м / с.

Отримані значення значно перевищують середні значення, отримані в процесі експлуатації J_1= $10^{-6}...10^{-8}$ γ = (0,2 ... 8) 10 м / с.

Це періодом приработки I , коли швидкість і інтенсивність зношування значно більше, ніж у наступний період II— період нормальної експлуатації. Після опрацювання чистота поверхонь тертя підвищиться, припустимо, вона підвищиться на один клас, тоді комплексна характеристика шорсткості зменшиться до Δ = 0,006.

Відповідно знизяться значення інтенсивності та швидкості зношування:

Насправді знос вкладишів шарніра шпинделя стана 1150 становить приблизно 10 місяць.

Швидкість зношування

$$\gamma = \frac{10.\ 10^{-3}}{400\ .3600} = 7.\ 10^{-9}\text{м/с}.$$

Інтенсивність зношування при середній швидкості ковзання максимально віддалених від осі точок шарніру

$\upsilon_{1\text{cc}}{}^{\max}$= 0,026 м / с становить $J_1{}^{max} = \gamma / \upsilon_{1\text{cc}}{}^{\max} = 2{,}7.10 = 7.$

Таким чином, фактичні значення інтенсивності та швидкості зношування мають той самий порядок, що і значення, отримані для припрацьованих поверхонь.

Дані, представлені для розподілу контактного тиску, не враховують зміни кривої тиску в міру зношування, що впливає на зміну швидкості зношування. Особливістю шарніра є те, що плоска поверхня вкладиша швидко зношується, що відбувається в основному в периферійній зоні контакту, далеко від осі обертання. Насправді швидкість ковзання лінійно зростає з радіальною координатою, а початкова картина тиску вкладиша більш характерна при трикутній формі (рис. 3.9, а).

Однак у міру зносу вкладиша епюра тиску змінюється від початкової трикутної форми до рівномірнішої, з розташуванням рівнодіючою в зоні центру контактної поверхні (рис. 3.9, б). Потім все більша частина моменту починає передаватися сухарем на внутрішні грані лопаті. Поступовий перехід до схеми передачі моменту через сухарі вважається основною причиною передчасних руйнувань лопатей і цапф сухарів, що спостерігаються на практиці.

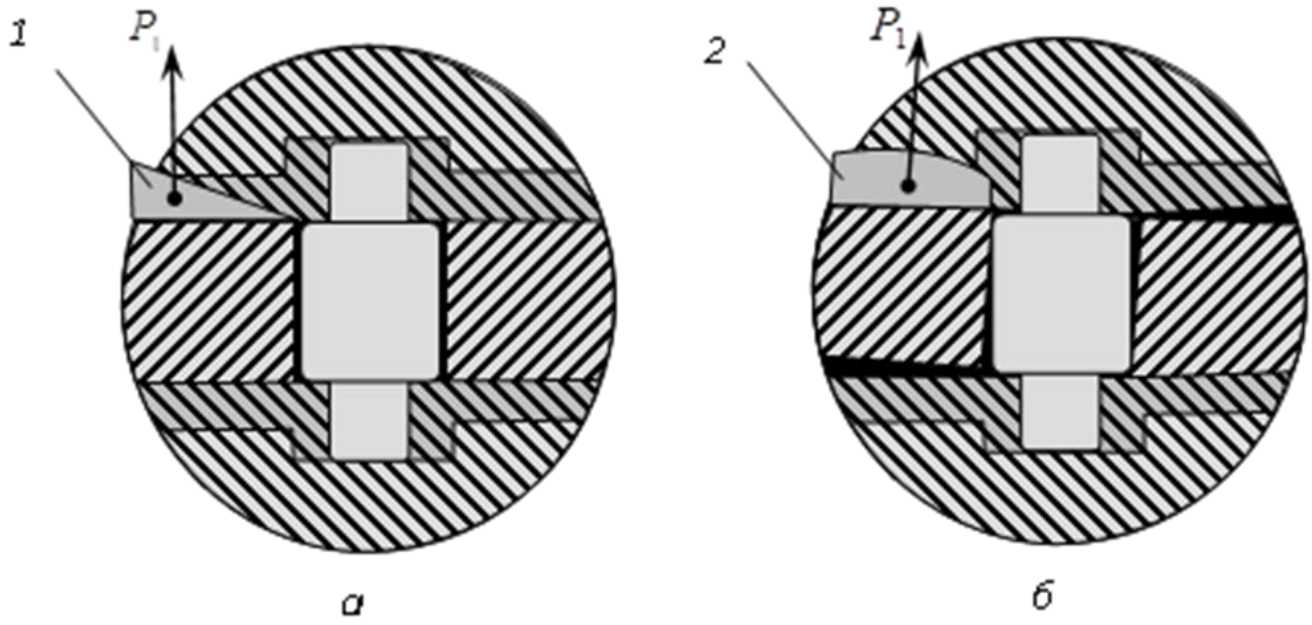


Рисунок 3.9 – Схема навантаження шарніру : а – нового,б – зношеного

У зв'язку з цим одним із критеріїв граничного зносу вкладишів може бути його виробіток, що відповідає появі розпірного зусилля, тобто. Початку передачі частини моменту через сухар. З практики відомо, що це виробіток становить $U_{\max}= (0{,}01 \dots 0{,}03)R_в$.

Знаючи граничне зношування $U_{\max}$та середню швидкість зношування $\gamma_{ср}$можна визначити ресурс вкладиша:

$$T_p = \frac{U_{\max}}{\gamma_{\text{ср}}}. \qquad (3.14)$$

Оцінюючи ресурсу вкладишів поданий підхід не виключає розрахунку з використанням моделі поступової відмови, що формується в процесі зношування.

Розглянемо спочатку більш загальний випадок, взявши як вихідний параметр xкутовий зазор в шарнірі, який пов'язаний із зносом Uзалежністю:

$$x = a_0 + U = a_0 + \gamma_{ср} t,$$

де $a0$- математичне очікування початкового значення кутового зазору шарніра, пов'язане з передбаченими в конструкції радіальними зазорами та розмірами шарніру:

$$a_0 = \delta_A / B_1,$$

де δ_A- Радіальний зазор по товщині лопаті; B_1- Розмір по довжині вкладиша.

Радіальні зазори δ_Aі δ_B (між сухарем та лопатою) пов'язані співвідношенням

$$\delta_A / \delta_B \leq B_1 / A_1, \qquad (3.15)$$

де A_1- Розмір по ширині вкладки.

Недотримання співвідношення (3.15) призвело б до передачі робочого моменту через сухар (палець).

У міру роботи шарніра кутовий зазор xзростає внаслідок зношування вкладишів, і при досягненні граничного значення настає відмова, тобто руйнування одного з елементів шарніра або неприпустиме зміна схеми силової взаємодії (наприклад, поява зусилля розпірного).

Оскільки аргументи a_0і $\gamma_{ср}$розподілені за нормальним законом, і параметр x для кожного значення $t = T$буде розподілено за тим самим законом з параметрами:

- математичне очікування

$$x_{\text{ср}} = a_0 + \gamma_{\text{ср}} T,$$

- середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_x = \sqrt{{\sigma_a}^2 \quad + {\sigma_\gamma}^2 T^2}.$$

Таким чином, залежність ймовірності безвідмовної роботи $P(T)$ від часу роботи шарніра набуває вигляду:

$$P(T) = 0{,}5 + \Phi[\frac{x0_{cp_{max}}}{\sqrt{{\sigma^2}_a + {\sigma^2}_\gamma T^2}} \tag{3.16}$$

Користуючись цією формулою, можна визначити $P(T)$ за заданого значення Tабо визначити ресурс $T = T_p$при заданому значенні ймовірності безвідмовної роботи $P(T)$ шарніра.

При високих вимогах до надійності зазвичай визначається значення ймовірності $P(T)$ і необхідно підрахувати ресурс $\text{T}_\text{р}$, що забезпечує даний рівень надійності. У цьому випадку у формулі (3.16) шуканим є час T, який входить в аргумент функції Лапласа Φ (.), що є квантилем q (.) нормального розподілу, що відповідає заданому значенню $P(T)$. Для квантилей нормального розподілу є таблиці. Прирівнявши q до значення аргументу функції Лапласа Φ (.), отримаємо визначення Tквадратне рівняння:

$$q\sqrt{{\sigma_a}^2 + {\sigma_\gamma}^2} T^2 = x0_{cp_{max}}$$

Порядок розрахунку полягає в тому, що для заданого значення $P(T)$ за таблицями квантилів нормального розподілу знаходять відповідне значення qі з рівняння (3.16) ресурс $T = T_p$.

Для окремого випадку, коли $P(T)$ = 0,5, а квантиль q = 0, з (19) випливає, що середній ресурс роботи вкладиша визначається за залежністю:

$$T_{\text{ср}} = \frac{x0_{max}}{\gamma_{\text{ср}}}$$

4 Охорона праці в галузі та техногенна безпека

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих факторів

До шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища, серед інших, відносяться:

-несприятливі кліматичні (мікроклімат) умови в повітрі робочої зони;

- інтенсивна зорова робота. інтелектуальне напруження, недостатнє або надмірне освітлення на робочому місці;

- монотонність роботи, діє нервово-емоційна напруга.

- невідповідність ергономічних показників робочого місця поточним вимогам. фізична важкість виконуваних завдань (статичні та динамічні навантаження на опорно-руховий апарат людини);

-шум, ультразвук і інфразвук. вібрація.

- електромагнітне поле промислової частоти, радіочастотне електромагнітне випромінювання;

- попадання забруднюючих речовин у повітря робочого місця;

- ризик ураження електричним струмом;

- пожежна небезпека;

- ризик нещасних випадків при експлуатації посудин під тиском;

- біологічна небезпека;

- ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру, що виникають усередині або на території тощо.

Аналіз карти умов праці майстрів-слюсарів наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці

Фактори	Норма-тивне значе-ння, ГДК, ГДР	Фактичне значення	Клас шкідливих і небезпечних умов, характер праці			Час дії фактора, % в зміну
			1 сту-пінь	2 сту-пінь	3 сту-пінь	
1	2	3	4	5	6	7
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3						
Масла мінеральні	5,0	6,5	1,3			90,8
Азоту діоксид	2,0	4,0	2			90,8
Ангідрид сірчаний	10,0	13,5	1,35			90,8
П. Пил переважно 57фіброгенної дії (силікато-вмісний), мг/м^3						90,8
Зміст кремнію диоксида – 2,5%	4,0	7,9	1,8			90,8
III. Шум, дБА	80	90		10		100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °С	27-15	38			11	90,8
- швидкість руху повітря, м/с	0,5	<0,3	60,6			90,8
- відносна вологість повітря,%	55	28				90,8
Категорія важкості та напруженості праці	Важка III Помірна					
V. Робоча поза						

Нахил корпуса в просторі, обумовлений технологічним процесом, град	перебування в похилому положенні понад					
	28,1	30		30		
Кількість факторів			5	2	1	

Гігієнічна оцінка умов праці.

Умови і характер праці відносяться до III класу 2 ступені по факторах: пил, шум.

Атестація робочого місця.

Робочі місця мають у наявності: 2 фактор 1 ступені, 2 факторів 2 ступеня, 1 фактор 3 ступені. По показниках робоче місце варто вважати з особливо шкідливими й особливо тяжкими умовами праці, що відповідає показникам списку № 1 пункт 1.

Відповідно до списку №1: пенсійний вік по пільгових умовах для чоловіків складає 50 років, для жінок 45 років, дається додаткова відпустка 7 днів і молоко.

4.2 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Основні небезпеки при прокатці складають можливе захоплення одягу або рук робітника валками стану, що обертаються, опіки і удари прокатуваним металом. Частково знижується ризик здобуття травми механізацією процесу прокатки автоматизацією технологічного процесу. Механізують прокатку, застосовуючи рольганги для подачі заготівок від печей до стану, стан обладнаний підйомно-гайдаючими столами, кантувальниками і маніпуляторами. Для передачі розкату з кліті в кліть застосовують автоматичні прилади, як із заднього, так і з переднього боку кліті.

Ризик травматизму викликає так само можливе відлітання окалини на обтискних клітях. Для профілактики травматизму в даному випадку застосовують новітні методи безокислювального нагріву металу. При звичайному нагріві заготівок в методичних газових печах перед чорновими клітями встановлюють окалинозламувачі.

Для захисту обличчя вальцювальників на обтискних клітях від викидів окалини і шлаку застосовують металеві сітки або пластмасові козирки, установку запобіжних завіс і екранів.

При налаштуванні клітей існує ризик захвату одягу або рук робітника. Щоб уникнути подібних випадків застосовують наступні запобіжні засоби. Процес управління натискними гвинтами на станах послідовного або безперервного типа здійснюється штурвалами з торцевого боку, а на станах лінійного типа – з переднього боку клітей.

Небезпечним чинником в цеху є електромостові крани, що завантажують заготівки в колодязі сповільненого охолоджування і у вагони. Пропонуються наступні заходи (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Технічні міри захисту від впливів шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип	Пара-метри	Місто установки
1	Запиленість	Витяжна вентиляція	Місцева	Витрата 1000 $м^3/ч$	Зона виділення пилу

2	Запиленість	Респіратор СИЗОД	"Росток", Тополь-4	-	Індивіду-ально
3	Шум	Навушники проти-шумові Беруші	- -	При-датний до 100дБА	Індивіду-ально
4	Температура	Утеплена куртка, ватяні штани	Тн	До -20°С	Індивіду-ально
5	Шкідливі хімічні речовини	Те ж що і при запиленості + костюм х/б, рукавиці	Ят	До 20 мг/м^3	Індивіду-ально

4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

4.3.1 Мікроклімат

Мікроклімат (метеорологічні умови) характеризуються атмосферним тиском, температурою, вологістю, швидкістю руху повітря, а так само інтенсивністю теплового випромінювання. Мікроклімат виробничих приміщень, в основному, впливає на тепловий стан організму людини і його теплообмін з довкіллям.

Терморегуляція – здатність організму регулювати теплообмін із зовнішнім середовищем при цьому температура тіла на певному, постійному рівні – 36,6 С, відносну вологість в межах 35-60% при температурі – 18-20 °С - вважають нормальною.

До основних заходів щодо нормалізації і поліпшення параметрів мікроклімату можна віднести:

- удосконалення технологічних процесів;

- раціональне розміщення технологічного устаткування;

- раціональна вентиляція, опалювання, а в літній час – кондиціонування повітря;

- раціоналізація режимів праці і відпочинку;

- вживання теплоізоляції устаткування і захисних екранів;

- використання засобів індивідуального захисту.

У даному проекті пропонуються наступні заходи по поліпшенню мікроклімату на виробничій ділянці:

- розміщувати основні джерела тепла безпосередньо під аераційним ліхтарем, біля зовнішніх стін будівлі і в один ряд на такій відстані один від одного, щоб повітряні потоки не перехрещувалися на робочих місцях.

- для охолоджування гарячих виробів необхідно передбачати окремі приміщення, устаткування яке випромінює тепло розташовувати в ізольованих приміщеннях або на відкритих майданчиках, створювати повітряні і водоповітряні душі.

- слід упроваджувати аерацію, на постійних робочих місцях встановлювати джерела променистого тепла. Для огороджування джерел тепла від робочих місць застосовувати захисні екрани і завіси.

4.3.2 Освітлення виробничих приміщень

Як відомо велику роль в зниженні травматизму грає якісне освітлення робочої ділянки. Крім того, низьке освітлення негативно впливає на зір робітника, в результаті, на його самопочуття і загальну працездатність. Тому, забезпечення хорошого освітлення є одному з пріоритетних завдань в організації виробництва. За одиницю освітленості прийнятий люкс. Контроль освітлення здійснюється спеціальними приладами – люксметрами. Для створення сприятливих умов освітлення, зорової роботи, що виключає швидке стомлення

очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків виробниче освітлення повинне відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочому місці рівень освітленості, відповідний характеру зорової роботи, не нижче встановлених норм.

- забезпечити достатню рівномірність і постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути надмірного навантаження зору і зміни світлових контрастів.

- не створювати засліплюючої дії в результаті роботи прокатного стану. - забезпечити контраст освітлених поверхонь.

- освітлення має бути простим і надійним в експлуатації, економічним і по можливості – естетичним.

Залежно від джерел світла виробниче освітлення може бути як природним, так і штучним. Природне освітлення передбачає попадання джерела світла через світлові отвори, вікна. Комбіноване освітлення передбачає поєднання верхнього і бічного освітлення. На рівень освітленості, у свою чергу, впливають наступні чинники: світловий клімат, площа світлових отворів, джерел, міра їх чистоти, забарвлення приміщення, наявність предметів тих, що утрудняють пряме освітлення.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих і побутових приміщеннях. При організації даного типа освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і враховувати всі економічні показники.

Для раціонального розподілу світлового потоку застосовується освітлювальна арматура. Її призначення – перерозподіл світлового потоку ламп, захист очей від яскравості. У цехах застосовуються світильники прямого світла, що підвішують на значній висоті. Для місцевого освітлення користуються світильниками типа «Альфа», «Бета», і коробчасті світильники. Використовують лампи типу ДРІ-400 і світильники «Астра».

4.3.3 Виробничий шум

Виробничим шумом прийнято називати всякий шум, який присутній на робочому місці, на ділянці або території підприємства, що виникає в результаті виробничого процесу.

Під впливом шуму, що перевищує 85-90 дБА, в першу чергу знижується слухова чутливість на високих частотах. Сильний шум надає негативної дії на здоров'я та працездатність людей. Тривала робота в умовах підвищеного рівня шуму призводить до зниження працездатності, швидкого стомлення і психічного виснаження. До того ж порушується процес травлення, відбувається зміна об'єму внутрішніх органів. Впливаючи на кору головного мозку, шум, надає дратівливу дію, ослабляє увагу.

Для боротьби з шумом, безпосередньо в джерелі його виникнення, застосовують малошумні механічні передачі, розробляються способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторах. Акустичні засоби захисту від шуму можна розділити на декілька груп: звукоізолюючі, звукопоглинаючі і глушники шуму.

Суть методу зниження шуму звукоізоляцією передбачає шумоізоляцію обладнання, розташування гучного об'єкту на великій відстані один від одного і основного приміщення роботи. Можливе оснащення приміщення звукоізолюючою стіною або перегородкою. Звукопоглинання відбувається за рахунок переходу коливань енергії в теплоту, яка виникає унаслідок втрат в звуконосії на тертя.

Звукопоглинальні матеріали і конструкції призначені для поглинання звуку як в приміщеннях з джерелом шуму, так і в сусідніх приміщеннях. Акустична обробка приміщень передбачає покриття стелі і верхньої частини стенів звукопоглинальними матеріалами.

4.3.4 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 сліпоти та негативно впливає на світлочутливі елементи сітківки очей людини.

Засоби захисту від виробничих випромінювань:

1. **Колективний захист:**
   - Екрани для зменшення інтенсивності теплового випромінювання.
   - Захисні кожухи для обладнання, що генерує електромагнітні поля.
2. **Індивідуальний захист:**
   - Спеціальний одяг з термостійкими властивостями.
   - Захисні окуляри, каски, рукавички.
   - Навушники або вкладиші для захисту від шуму.
3. **Організаційні заходи:**
   - Контроль рівня випромінювань відповідно до нормативів.
   - Ротація персоналу для скорочення часу перебування в зоні впливу випромінювань.
   - Інструктаж і навчання працівників техніки безпеки.

Дотримання норм захисту від виробничих випромінювань є обов’язковим для забезпечення безпеки працівників і стабільної роботи підприємства.

4.3.5 Гігієна праці

Гігієна праці це наука, що вивчає дію трудового процесу і навколишнього виробничого оточення на організм працюючої людини. Виробнича санітарія, у свою чергу, є системою організаційних заходів і засобів, що запобігають дії

шкідливих чинників на робітниках. Такими можуть бути пил, шум, висока температура, інфрачервоне випромінювання.

Людина постійно знаходитися у взаємозв'язку з довкіллям, в міру можливості він пристосовується до неї, або пристосовує її до себе, забезпечуючи умови для існування. В разі недостатнього пристосування зовнішнє середовище надає несприятливу дію на людину, унаслідок чого страждає його фізичне і психічне здоров'я.

На основі вивчення умов і характеру праці на підприємствах чорної металургії і їх впливу на організм робітників розроблений комплекс організаційних, санітарно-технічних і лікувально-профілактичних заходів, направлених на усунення несприятливих чинників виробничого середовища. Серед них запобігання або зменшення їх впливу на організм людини, а також зміна самого характеру праці для зміцнення здоров'я працівників і підвищення їх працездатності.

Нагрітий до 1250 °С метал приводить до виникнення зайвого тепла і інфрачервоного випромінювання. Це, поза сумнівом, є чинником, що негативно впливає на здоров'ї робочого. Згідно з цеховими вимірами інфрачервоне випромінювання складає більше 2000 т/м^2 і відноситися до другого класу.

Шум, що виникає при роботі устаткування по цехових вимірах, відноситися до другого класу і складає рівень в 100 дБА. Допустимий рівень не повинен перевищувати 80 дБА (при частоті 1000 Гц). Для зменшення тертя шийок валків застосовують воду, яка при попаданні на валяння приводить до паротворення.

4.4 Техногенна безпека

В цеху можливі аварії техногенного характеру: вибухи пов’язанні з використанням газу в термічних печах, поломки обладнання, пожежі в кабельних тунелях. В складі ГММ використовують керосин, при горінні якого виникає небезпека пошкодження шкіри людини різного ступеня (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Характеристика небезпечної речовини – керосин

Найменування параметра	Параметр
Найменування речовини	Керосин
Склад	До складу керосину входять вуглеводи, які википають при температурі від 180°С до 360°С
Теплота згоряння, кДж/кг	43540
Температура спалаху, °С	53
Температура займання, °С	63
Температурні межі займання, °С	35-75
Молекулярна маса	154,7
Щільність при20°С, кг/м³	792
Агрегатний стан, колір	Безбарвна або жовтувата (без спеціальних добавок) рідина
Вибухопожежонебезпечність	Горюча рідина
Токсичність	ГДК згідно ГОСТ 12.1.005 300 мг /мл 12.1.007 (малонебезпечна рідина).
Реакційна здатність	Хімічна стабільність керосина це здатність протистояти окислювальним процесам під час зберігання. При тривалому зберіганні керосин окислюється і утворюється осад. Процес окислення прискорюється при наявності деяких металів.
Корозійна активність	Корозійна стійкість керосина помірна, сполук сірки.

Вплив на людину і на навколишнє середовище	Сприяє подразненню слизової оболонки і шкіри людини, а також появі шкірних захворювань. При тривалому контакті викликає зміна функцій центральної нервової системи, підвищений захворювання органів дихання людини. Не утворює токсичні сполук у повітрі і стічних водах в присутності інших речовин при температурі навколишнього середовища. Пари негативно впливають на стан навколишнього середовища. При зливі у водойму на поверхні утворюється плівка, яка перешкоджає проходженню кисню, що може призвести до масової загибелі представників флори і фауни водойм.
Засоби безпеки, засоби захисту	Вентиляція. При чищенні та ремонті цистерн - попередня продувка інертним газом (гострою парою), потім - чистим повітрям. В атмосфері з високим вмістом гасу забороняється працювати в поодинці. Застосування засобів індивідуального захисту згідно з ГОСТ 12.4.011 і ГОСТ 12.4.103. в місцях з вмістом пари гасу вище ГДК - протигази марок А. БКФ і шлангові протигази ПШ-1 або аналогічні (ГОСТ 12.4.034). Для

	захисту шкіри рук - рукавиці, креми і пасти згідно ГОСТ 12.4.068.
Методи перетворення речовини в безпечний стан	При пожежі: вуглекислий газ, хімічна піна, перегріта пара, розпорошена вода, порошок ПСБ-3; в приміщеннях - об'ємне гасіння. При протоці гасу зібрати його в окрему тару, місце протоки промити мильним розчином, гарячою водою, протерти сухою тканиною. При протоці на відкритому майданчику місце протоки засипати піском з наступним його видаленням і утилізацією. Для попередження розтікання при великих протоках обладнання тимчасовим обвалуванням навколо місця протоки.
Перша допомога потерпілим	При попаданні керосина на відкриті ділянки тіла необхідно його видалити і ретельно промити шкіру водою з милом; при попаданні на слизову оболонку очей ретельно промити водою.

4.5 Заходи пожежної безпеки

Згідно до ДСТУ пожежна безпека об'єкту забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту, заходами організаційного характеру. За всіх умов роботи, виробництва, має бути забезпечена пожежна безпека об'єкту і людей. Основним нормативним документом про пожежну

безпеку є Закон «Про пожежну безпеку» 1993 р., будівельні норми і інші нормативні акти.

Під пожежею мають на увазі неконтрольоване горіння, що розвивається в часі і просторі.

До чинників пожежі відноситися не лише вогонь, але і такі чинники як дим, вибух, пил, недолік кисню та ін.

Під системою запобігання пожежам слід розуміти комплекс організаційних заходів, технічних засобів спрямованих на виключення умов виникнення пожежі. Одним з основних принципів в системі є положення про те, що горіння можливе лише за певних умов. Система включає: запобігання появи горючого середовища і виникнення в цьому середовищі джерела запалення. Перша умова досягається вживанням герметичного устаткування, заміною технологічного процесу негорючими речовинами. Друга передбачає наявність устаткування, при роботі якого поява джерела запалення зведена до мінімуму.

Для формування системи запобігання пожежам необхідні вимоги пожежної безпеки мають бути враховані ще в проекті промислового підприємства. До цих вимог відносяться:

Забезпечення належних розривів між підприємствами і житловими кварталами.

Раціональне зонування споруд на території підприємства, Формування оптимальних умов для ліквідації можливого вогнища спалаху і ін.

Для запобігання поширенню пожежі встановлюють протипожежні перешкоди. До них відносяться перекриття, що не горять, протипожежні стіни. При проектуванні приміщень підприємства передбачають можливість безперешкодного виходу з приміщень при виникненні пожеж, і інших аварій. Дороги евакуації мають бути мінімальними довгі, що б можна було швидко покинути приміщення. Число евакуаційних виходів має бути не менше двох. Двері на дорогах евакуації повинні відкриватися у бік виходу з будівлі. Евакуаційні виходи мають бути виконані з конструкцій, що несуть, вогнестійких.

Дах будівлі більше 10 метрів потрібно обладнати сходовими спусками. Приміщення відноситься до категоріі Г, ступінь вогнестійкості III.

4.5 Розрахунок вентиляції для видалення надлишкової теплоти

У обтискному цеху об'ємом 103773 м^3 для термічної обробки сталі встановлено дві нагрівальні печі з сумарною тепловиділяючої поверхнею 20 м^2. Температура всередині печі $t_{вн}$= 1050 °С. Стінки печей цегляні з шамоту товщиною δ_1= 345 мм. Кожух печі із сталі товщиною δ_2= 3 мм. Сумарна продуктивність печей Р = 3500 кг/год. Початкова температура витягуємого із печі металу $t_{поч}$ = 1020 °С, до моменту вивезення з відділення метал остигає до $t_{кін}$= 100 °С. Температура зовнішнього повітря $t_{нар}$= 20 °С. Температура повітря у відділенні t від 25°С, температура минаємого повітря $t_{ух}$= 30 °С.

Знайдемо загальні тепловиділення в термічному відділенні протягом години. Основні джерела теплоти - нагрівальні печі і остигаючий метал.

Тепловиділення від нагрівальних печей визначається за формулою, Вт:

$$Q_{П} = R \cdot (t_{вн} - t_{от}) \cdot S; \tag{4.1}$$

де R- коефіцієнт теплопередачі стінок печі, Дж/(м^{2}сК);

S - сумарна площа тепловиділяючих поверхонь печей, м^2

Коефіцієнт теплопередачі стінки печі розраховується за формулою:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}; \tag{4.2}$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній "зовнішній поверхнях печі, вони відповідно рівні 14 та 9,3 Дж/(м^{2}сК).

λ_1 та λ_2 - коефіцієнта теплопровідності шамотної цегли і кожуха печі, вони відповідно рівні 0,93 та 7 Дж/(м^{2}сК),

Тоді за формулою (4 .2), отримаємо:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{14} + \frac{0,345}{0,93} + \frac{0,003}{7} + \frac{1}{9,3}} = 1,81 Дж/(м^2 сК)$$

Тепловиділення від нагрівальних печей, що визначається за формулою (4.1), складе:

$$Q_П = 1,81 \cdot (1050 - 25) \cdot 20 = 37105 Дж/с$$

Знаходимо тепловиділення від остигаючого металу, Дж/с

$$Q_М = P \cdot C \cdot (t_{поч} - t_{кін}); \quad (4.3)$$

де С - теплоємність металу, Дж/(кг·К), С = 0,14 Дж/(кг·К).

Підставивши у формулу (4.3) числові значення, отримаємо:

$$Q_М = 3500 \cdot 0,14 \cdot (1020 - 100) = 450800 Дж/с$$

Далі знаходимо загальну кількість теплоти, що виділяється у відділенні від нагрівальних печей та остигаючого металу:

$$Q_{ЗАГ} = Q_П + Q_М = 37105 + 450800 = 487905 Дж/с \quad (4.4)$$

Приймемо втрати теплоти через огородження будівлі відділення рівним 20% загального надходження теплоти. Тоді надмірна кількість теплоти визначається за формулою:

$$Q_{НАД} = Q_{ЗАГ} \cdot 0{,}8 = 487905 \cdot 0{,}8 = 390324\,Дж/с \quad (4.5)$$

Кількість повітря, яке необхідно ввести для видалення надлишкової теплоти, м^3/год:

$$V_{ПОВ} = \frac{3600 \cdot Q_{НАД}}{C_в \cdot (t_{ух} - t_{нар})}; \quad (4.6)$$

де $C_в$ - об'ємна теплоємність повітря

$$V_{ПОВ} = \frac{3600 \cdot 390324}{1{,}256 \cdot (30 - 20)} = 118763 м^3/ч$$

Знаходимо кратність повітрообміну:

$$K = \frac{V_{ПОВ}}{V_{ном}}; \quad (4.7)$$

де $V_{ном}$ – об’єм термічного відділення, м^3

$$K = \frac{1118763}{103773} = 11$$

тобто повітря в приміщенні протягом години обмінюється 11 разів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У результаті проведеного дослідження умов експлуатації шпиндельних пристроїв слябінга 1150 комбінату «Запоріжсталь» та розробки технічних рішень щодо їх удосконалення було отримано наступні висновки:

1. Досліджено конструктивні особливості шпиндельних пристроїв та виявлено основні причини їх зношування, зокрема високі динамічні навантаження, вплив температурних коливань і недостатню стійкість матеріалів до зношування. Експлуатаційні режими підтверджують необхідність оптимізації конструкцій для підвищення їх довговічності.
2. Встановлено, що найуразливішими елементами є контактні поверхні вкладишів шарніру шпинделя. Причинами відмов виступають зношування поверхонь, мікротріщини, люфти, а також нерівномірний розподіл навантаження.
3. Розроблені рекомендації щодо удосконалення механізмів, а саме впровадження конструктивних змін, зокрема використання сучасних високоміцних і зносостійких матеріалів; оптимізація геометрії елементів для рівномірного розподілу навантаження; використання спеціалізованих мастильних матеріалів для зменшення тертя та перегріву.
4. В результаті визначення ресуру роботи шпинделяна втомну міцність видно, що найбільша приведена до симетричного циклу амплітуда набагато нижче за межу витривалості шпинделя. Фактичні значення інтенсивності та швидкості зношування мають той самий порядок, що і значення, отримані для припрацьованих поверхонь.
5. Результати роботи мають практичну цінність для комбінату «Запоріжсталь», оскільки впровадження запропонованих заходів сприятиме стабільній роботі слябінга 1150, підвищенню продуктивності та якості металопродукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механічне обладнання прокатних станів : конспект лекцій. МОДУЛЬ 1. Обладнання робочої кліті прокатного стану (для студентів спеціальності 136 Металургія усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти) / уклад. Ю. К. Доброносов. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 72 с.
2. Іванченко Ф.К. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів / Ф.К. Іванченко, В.М.Гребеник, В.І.Ширяєв . – К.: Вища шк., 1995. – 455с
3. Ніколаєв В. О. Технологія виробництва сортового та листового прокату підручник. Частина ІІ / В. О. Ніколаєв, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2000. – 220 с.
4. Ліхацький Р.Ф. Спеціальні сплави та композити на основі міді та методи їх одержання//Процеси лиття. 2020, №1, С.61-68.
5. Теорія і практика змащування металургійних машин. Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.090218 – Механічне обладнання /Максименко О.П., Перемітько В.В., Самохвал В.М. //Дніпропетровськ: «Системні технології», 2006р. – 172 с.
6. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Буцукин В. В. Зношування лопастей універсального шпинделя прокатного стана // Вісник ПДТУ. 2012. Вип. 24. С. 262–265.
7. Сидоренко В. А., Нижняк Н. В. Закономірність зношування вклаишів універсального шпинделю прокатнів станів //Системні технології .Дніпропетровськ2003р.С. 98-102.
8. Плахтин В. Д., Івочкин М. Ю., Дмитрюк С. О. Дослідження шарніру шарового шпинделю250 // САПР и графіка. 2011. № 4. С. 32–35.
9. Fracture Failure Analysis of Main Drive Spindle and Working Roll in 1780 Mill R2 Rougher Mill / Lou S. et. al. // Jixie Qiandu. 2014. Vol. 36, Issue 5. P. 809–812.
10. Гречаний О. М. Встановлення закону розподілу поломок елементів прокатного стану з метою їх запобігання / І. А. Шевченко, Т. А. Васильченко, Ю. Г. Кобрін//

Региональний межвузівський збірник наукових праць. Системні технології. – 2018. – №4. – С. 122–127.

11.Гречаний О.М. Дослідження проблеми виконання своєчасних ремонтних робіт шпіндельних пристроїв прокатних станів. Сучасні технології промислового комплексу : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Херсон : ХНТУ, 2017. С.115.

12. .Стенд для дослідження матеріалів на тертя та знос: АС 131442 UA : МПК G01N 3/56 (2006.01) / Шевченко І.А., Васильченко Т.А., Кобрін Ю.Г., Гречаний О.М. – № u201805516, заявл.06.08.2018; опубл.10.01.2019, Бюл. №1, 5 с.

13 Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник / В. В. Кухар, О. С. Аніщенко, А. Г. Присяжний. – Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 234 с.

14. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: Підручник. – К.: Знання, 2016. — 400 с.

15. Опір матеріалів: Навч. посіб. для студентів ВНЗ. Рекомендовано МОН / Шваб'юк В.І. — К., 2009. — 380 с.

16. Гайдамака А. В. Деталі машин: підручник для студентів технічних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 316 с.

17. Купчик М.П. та інші. Основи охорони праці. – К.: Основа, 200. -416с.

18.Геврик Е.О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.:Ельга, Ніка-центр. 2003. – 280с.

19. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник.-Львів.: Афіша, 2003. – 320с.

20. Гадзюк М.П., Желібо Е.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Зав. ред. Гадзюк М.П. – К.: Каравелла, 2003. – 408с.

21. Магістерська робота. Методичні вказівки до підготовки випускної кваліфікаційної роботи магістра для студентів ЗДІА спеціальності 133 "Галузеве машинобудування", ОПП – «Металургійне обладнання», рівень вищої освіти - марістр / Укл.: Огінський Й.К., Таратута К.В., Шевченко І.А., Ковязін О.С., Васильченко Т.О.− Запоріжжя, 2018. – 76с

СПИСОК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ

№ з/п	Найменування	Формат	Кількість
1	План устаткування обтискного цеху	А1	1
2	Шпиндель. Креслення складальне	А1	1
3	Влдадиш	А2	1
4	Шпиндель	А2	1
5	Плакати дослідницької частини	А1	2

ДОДАТКИ