

Міністерство освіти і 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 режимів роботи та вдосконалення механізмів головної лінії
чистої кліти стану холодної прокатки листів

Виконав: магістрант групи 8.1332

Забашта Д. О.

(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 Огінський Й.К.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н. контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 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 кафедру А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Забашти Дмитра Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз режимів роботи та вдосконалення механізмів головної лінії чистової кліті стану холодної прокатки листів
керівник магістерської роботи д.т.н, професор Огінський Й.К.,
затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” жовтня 2023 року
№ 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 07 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи прокатного цеху.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень підвищення надійності обладнання широкоштабового прокатного стану та обґрунтування обраного напрямку роботи; 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. Головна лінія прокатної кліті – 1А1; 2. Шпindelний пристрій – 1А1; 3. Шпindel нижній – 2А1; 4. Шпindel зубчастий – 1А1 5. Встановлення датчиків на шпинделях – 1А1; 6. Розробка засобів пожежогасіння – 1А1

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Огінський Й.К., д.т.н, професор		
2	Огінський Й.К., д.т.н, професор		
3	Огінський Й.К., д.т.н, професор		
4	Огінський Й.К., д.т.н, професор		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	29.05.2023 – 25.06.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2023 – 17.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проекту	18.09.2023 – 18.10.2023	
4	Виконання графічної частини проекту	19.10.2023 – 19.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2023 – 30.11.2023	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проекту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Забашта Д.О. Аналіз режимів роботи та вдосконалення механізмів головної лінії чистової кліті стану холодної прокатки листів

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Й. К. Огінський. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2023.

Проаналізовані переваги та недоліки наявних технічних рішень спрямованих на підвищення ефективності роботи привода прокатного стану. Запропонований варіант модернізації шпindelного пристрою. Проаналізовано вплив крутних моментів та зазорів на коефіцієнт динамічності.

Ключові слова: ШТАБА, ШПИНДЕЛЬ, ЗАЗОР, КРУТНИЙ МОМЕНТ

ABSTRACT

Zabashta D.O. Analysis of operating modes and improvement of the mechanisms of the main line of the finishing cage of the state of cold rolling of sheets

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser Yo.K. Oginsky. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

The advantages and disadvantages of existing technical solutions aimed at increasing the efficiency of the rolling mill drive are analyzed. An option for modernizing the spindle device is proposed. The influence of torques and clearances on the dynamic coefficient is analyzed.

Key words: STRIPE, SPINDLE, CLEARANCE, TORQUE

Зміст

Вступ	7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ШИРОКОШТАБОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	9
1.1 Аналіз технологічного процесу ділянки холодної прокатки та місце в ньому прокатного стану	9
1.2 Аналіз технічних рішень спрямованих на підвищення ефективності роботи приводу прокатного стану	23
1.3 Пропозиції, щодо вдосконалення приводу робочої кліті та обґрунтування обраного напрямку	30
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	32
2.1 Розрахунок технологічних параметрів прокатки	32
2.2 Розрахунок шестеренної кліті	45
2.3 Розрахунок зубчастих муфт запропонованої конструкції шпинделя	54
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	56
3.1 Аналіз впливу динамічних процесів на роботу приводу чистових клітей прокатного стану 1680	56
3.2 Експериментальне дослідження крутних моментів при прокатці штаби	61
3.3 Аналіз та обробка результатів проведення експерименту	72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	77
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища за умов холодної прокатки	77
4.2 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії	79
4.2.1 Мікроклімат	79
4.2.2 Освітлення виробничих приміщень	81
4.3 Техногенна безпека	82
4.3.1 Заходи безпеки при виконання ремонтних робіт	82
4.3.2 Заходи пожежної безпеки	83

	6
4.4 Розробка засобів пожежогасіння	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	89
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	94
ДОДАТКИ	95

Вступ

Широкоштабові прокатні стани відносяться до числа найбільш навантажених металургійних агрегатів, обладнаних потужними приводами.

Подальша модернізація обладнання і технології прокатки із освоєнням нових сортamentів продукції та інтенсифікації роботи, беззаперечно супроводжується збільшенням статичного і динамічного навантаження в головних лініях приводів клітей, що призводить до зростання кількості не запланованих простоїв технологічної лінії в цілому.

Результати чисельних досліджень вказують на те, що основна причина великих динамічних навантажень – це зазори в з'єднаннях, які викликають биття коливальних мас. Встановлено, що зазор на шпindelній ділянці через зношеність вкладишів в приводі клітей чинить вплив на динаміку всієї лінії привода.

Провідні закордонні металургійні підприємства вирішили дану проблему кардинальною зміною технологічної схеми виробництва широкоштабового прокату. Технологічний процес ведеться без паузного режиму, в результаті чого динаміка перехідного процесу при захопленні металу валками майже відсутня. Такий, практично безкінечний, режим здійснюється поєднанням прокатного стану з машиною безперервного лиття заготовки і в приводі прокатного стану використовують зубчасті шпindelі з бочкоподібним зубом або бочкоподібним роликком, які не мають недоліків притаманних універсальним шпindelям. Така схема отримання листового прокату має істотний енергозберігаючий потенціал.

На ПАТ «Запоріжсталь» також прийнята перспективна програма реконструкції сталеплавильного виробництва разом з прокатним виробництвом по будівництву киснево-конверторного цеху з ливарно-прокатним модулем.

На період будівництва конверторного цеху з ЛПМ перед ПАТ «Запоріжсталь» стоять дуже складні задачі по модернізації та реконструкції існуючого обладнання з метою збільшення їх техніко-економічних показників порівняно з тими, які досягнуті на машинах цього призначення. Рішенню цих задач, які забезпечать виробництво високоякісного, конкурентоспроможного на

світовому ринку листа, і присвячено випускову кваліфікаційну роботу.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи привода широкоштабового стана 1680 холодної прокатки листа.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях удосконалення конструкції привода робочої кліті прокатного стана;
- визначити навантаження, що діють на шпindel привода робочих валків, та виконати розрахунок основних його конструктивних елементів;
- експериментальним шляхом встановити залежність коефіцієнта динамічності від крутного моменту;
- експериментальним шляхом встановити залежність коефіцієнта динамічності від зазорів в рухливих частинах шпindelного пристрою;

Предмет дослідження – конструктивні параметри привода робочої кліті прокатного стана.

Об'єкт дослідження – шпindelний пристрій.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на: XVI університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2023», 17-22 квітня 2023 року, м. Запоріжжя, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 107 сторінок, у тому числі 90 сторінок основного тексту, 24 рисунки, 13 таблиць, 50 найменувань використаних джерел на 5 сторінках, 12 додатків.

Робота виконана на кафедрі металургійного обладнання, Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні, Запорізького національного університету.

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ШИРОКОШТАБОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Аналіз технологічного процесу ділянки холодної прокатки та місце в ньому прокатного стану

На ділянці холодної прокатки призначений виготовляють товарну продукцію у вигляді холоднокатаних листів та рулонів. На основному технологічному обладнанні ділянки – безперервному чотириклітинному стані «1680», двох одноклітинних реверсивних станах «1680» та «1200», двадцятивалковому стані «1700» та двох безперервних вузькоштабових чотирикільтьових станах «450» і «650» виробляється холоднокатаний лист, штаба, стрічки з вуглецевої, легованої, низьковуглецевої та нержавіючої сталі. Товщина прокату від 0,2 до 2,0 мм ширина – від 10 до 1500 мм і довжина листа до 4000 мм, а маса рулонів до 19 т.

Вихідним матеріалом для холодної прокатки служать рулони гарячекатаної штаби товщиною 2-4 мм, які надходять з широкоштабового стану гарячої прокатки [1].

Технологічний процес виробництва листової сталі холоднокатаної дуже складний так як включає велику кількість переділів, вимагає застосування різноманітного і складного обладнання.

Технологічний процес включає такі основні операції:

- а) травлення з наступним промаслювання;
- б) холодна прокатка;
- в) світлий відпал;
- г) дресирування;
- д) порізка, промащування, сортування;
- є) упаковка та відвантаження пачок аркушів та рулонів.

Дільниця холодної прокатки у своєму складі має наступні відділення: травильні, прокатні, термічні, дресирувальні, нержавіючого листа, жерсті та підготовки валків.

В травильному відділенні відбувається процес видалення окалини з поверхні штаби. Травильна лінія має у своєму складі травильні ванни і допоміжне обладнання: розмотувачі окалинозломувачі, моталки, ножиці для обрізання кінців штаби та ін. Травлення штаби ведеться в розчинах соляної кислоти. Штаба на травильній лінії зварюються встик.

До складу прокатного відділення входять безперервний чотириклітинний стан «1680» та реверсивні стани «1680», «1200», ділянку підготовки валків. Безперервний чотириклітинний стан «1680» складається з 4-х послідовно - розташованих клітей «кварто», що мають у своєму складі два опорні і два робочі валки, а також допоміжного обладнання: підвідного приймального пристрою, поворотного столу, розмотувача, моталки барабанного типу та ін. Реверсивний стан «1680» складається з кліті «кварто» та обслуговуючого її обладнання: конвеєра, що підводить, перекидача, розмотувача, моталки. Реверсивний стан «1200» складається з 4-х валкової кліті та обслуговуючого її обладнання: конвеєра, що підводить, розмотувача, правильнотягнутої машини, плоского проводкового столу, двох моталок [2].

У термічному відділенні проводиться відпал рулонів холоднокатаних в одностопних ковпакових печах із захисною атмосферою. Максимальна вага садка – 54 т. У відділенні встановлено 249 стендів згрупованих у 16 блоків. Блоки мають автономну систему подачі природного та захисного газів, повітря, електроенергії, води. Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для створення конвекції захисного газу під муфелем. Печі також обладнані контрольно-вимірювальною апаратурою, що забезпечує задані режими відпалу.

До складу дресирувального відділення входять дресирувальні стани «1700-1», «1700-2», агрегати поперечного та поздовжнього різання. Дресировочні стани складаються з кліті «кварто», розмотувача, моталки та допоміжного обладнання. Агрегати поперечного різання складаються з ножиць барабанного типу та

допоміжного обладнання: розмотувач, правильна машина, промаслюючі ролики, листівки ладчики.

Відділення з виробництва нержавіючого листа оснащене комплексом агрегатів для виробництва холоднокатаного нержавіючого листа товщиною 0,8-2,0 мм, що включає безперервні гартові агрегати №1 і №2, безперервний травильний агрегат №3, агрегат шліфування гарячекатаної штаби, 20-валковий стан, агрегат дресирування, виправлення, різання (КДПР). Ділянка підготовки валків включає два верстати для обдирки і два верстати для шліфування валків, машину для насічки поверхні валків, майданчик для ревізії подушок і вальниць, стелажі складання-розбирання валків.

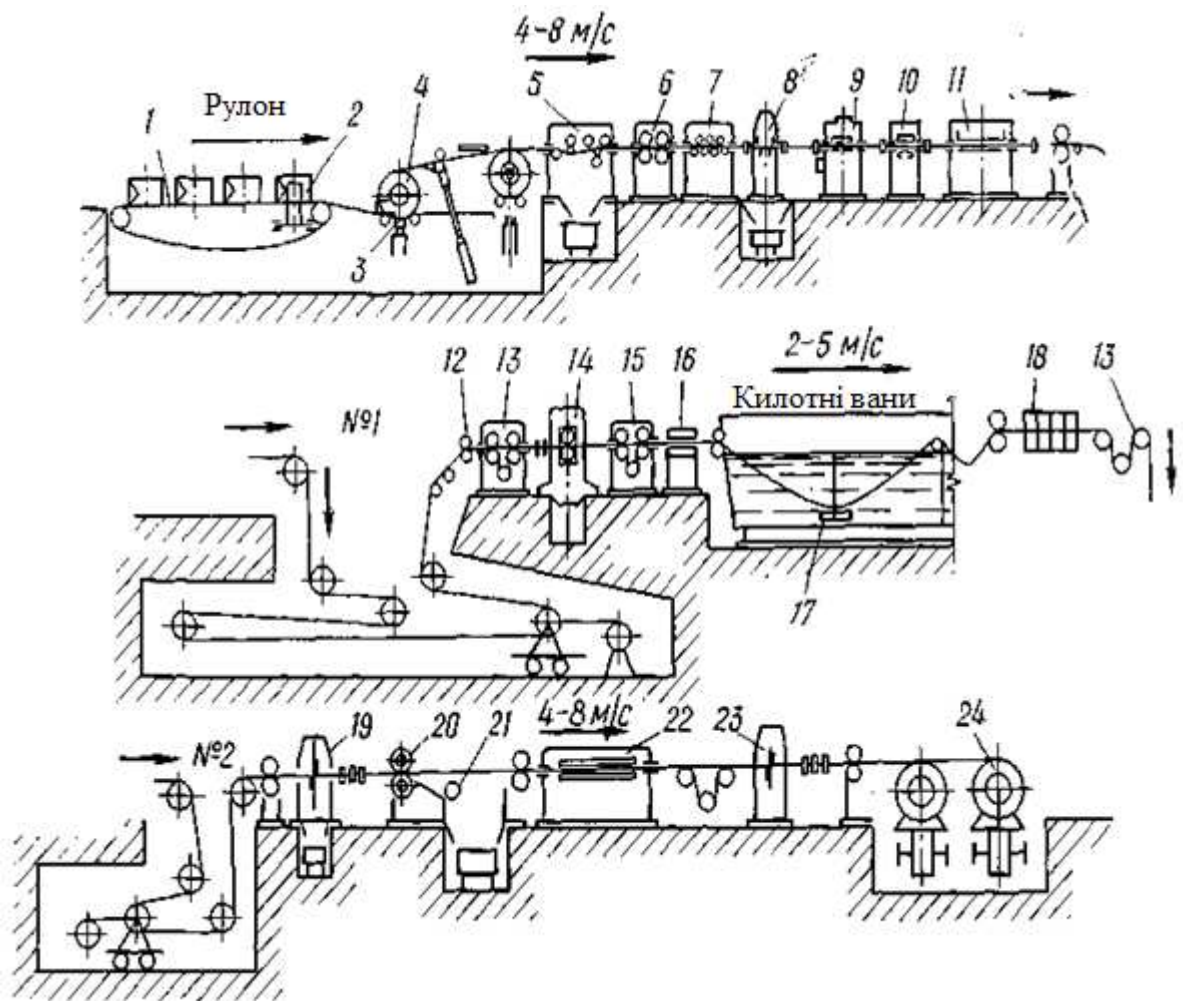
У зв'язку з тим, що поверхня гарячекатаної штабової сталі, що застосовується як заготовка при виробництві холоднокатаної листової сталі покрита окалиною, виникає необхідність у її видаленні для отримання високої якості поверхні холоднокатаної штаби. Для видалення окалини з поверхні штаби використовують агрегати безперервного травлення (НТА). Гарячекатані рулони зі складу за допомогою крана встановлюють на конвеєр, який подає їх до кантувальника. Після кантування черговий рулон укладається на підйомний стіл двопозиційного розмотувача. Передній кінець рулону відгинається і надходить в окалинозломлювач і тягнучі ролики діаметром 400 мм, далі в п'ятироликову правильну машину, де штаба правиться і подається на гільйотинні ножиці з нижнім різом – для обрізки переднього і заднього кінця штаби, які потім зварюють встик. Напливи зварного шва (грата) знімають гратознімач. Потім зварені в одну стрічку штаби простягаються тягнучими роликами і надходять в петльову яму для створення запасу штаби, що забезпечує ритмічність процесу. Далі штаба надходить у окалинозловлювач, який здійснює грубу ламку окалини. В результаті цього частина окалини видаляється, а в окалині, що залишилася, утворюються дрібні тріщини, в які легко проникає травильний розчин. Окалинозломлювач служить для створення натягу перед кліттю ДУО. Кліть ДУО має два робочих валка діаметром 750 мм та довжиною 1680 мм. Привод валків здійснюється від електродвигуна потужністю 1250 кВт, обтискання при

дресуванні знаходиться в межах від 0,5-0,8 %. Остаточне видалення окалини відбувається в чотирьох травильних ваннах з кислотним розчином. У травильних ваннах штаба занурюється у розчин соляної кислоти, підігрітий гострим паром до 90 - 100 ° С, кислотний розчин проникає через тріщини, що утворилися в окалині, і розчиняє її. Вільний молекулярний водень, що утворюється при цьому, сприяє відділенню окалини від поверхні штаби.

Після травлення штабу пропускають через віджимні ролики. Після цього штабу промивають у промивальних ваннах з холодною та гарячою водою. Очищену та промиту штабу сушать підігрітим повітрям ($t=95-100^{\circ}\text{C}$), промаслюють і на моталках змотують у рулони, які по транспортеру передають у прокатне відділення, для подальшої обробки на прокатних станах. Цикл травлення гарячекатаної штаби включає такі операції:

- установка рулонів електромостовим краном за допомогою спеціальних кліщів на приймальний підйомний стіл або на похилий конвеєр перед лінією – для передачі його на кантувач.
- кантування рулонів кантувачем з вертикального положення в горизонтальне, скидання скидувачем в підйомно-поворотну раму, центрування по осі, установку рулону в положення, зручне для відгинання кінця штаби скребком, відгинання кінця штаби і подачу в ролики, що тягнуть, правильної машини.
- обрізання кінців штаби на ножицях нижнього різку;
- зварювання в стик двох кінців смуг у стикозварювальній машині та зняття ґрата (напливу зварного шва) в ґратознімач.
- протягування звареної у безперервну стрічку штаби тягнучими роликами № 2 і подання її в петлеву яму № 1.
- накопичення штаби у вигляді петель у петльовій ямі № 1 для створення такого запасу штаби, який би забезпечував ритмічну роботу всього агрегату на заданих швидкостях, незалежно від пауз при черговому завданні рулонів, обрізанні кінців, їх зварюванні, але не більше двох рулонів.

Схема безперервного травильного агрегату наведено на рисунку 1.1.



1 - транспортер; 2 - кантувальник; 3 - підйомний стіл; 4 - розмотувач; 5 - окалинозломлювач; 6 - тягучі ролики; 7 - правильна машина; 8 - гільйотинні ножиці; 9 - стикосрочна машина; 11 - зшивна машина; 12 - тягучі ролики; 14 - дресирувальна кліть; 13,15 - ролики; 16 - індукційна установка; 17 - регулятора; 18 - ванна; 19 - ножиці; 20 - дискові ножиці; 21 - промаслювання; 22 - моталка; 23 - правлення; 24 - моталка

Рисунок 1.1 – Схема безперервного травильного агрегату для травлення смуг у розчині соляної кислоти

На стані «1680» встановлена чотиривалкова кліть з діаметром робочих валків 51 0мм і опорних з діаметром 142 0мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 1650 кВт через шестеренну кліть і обертаються з

максимальною кутовою швидкістю 10 м/с. У процесі прокатки робоча швидкість валків вкладається у 9,8 м/с [3].

На стані прокатують низьковуглецеву сталь 08КП (ПС) з розмірами 0,6x 1030 мм (підкат для жерсті) та 0,5 x 1020 мм (автолист). Підкат для жерсті, що відправляється безпосередньо на обробку на ділянку жерсті, прокатують у шліфованих валках, а автолистову сталь, що йде в рулонах на рекристалізаційний відпал, прокочують в умовах несиметричної деформації. З метою зниження енергосилових параметрів застосовують один з валків (верхній) з висотою шорсткості $R_a = 4$ -бмкм, а другий валок шліфований з $R_a = 1-1,2$ мкм. Зниження сумарної шорсткості поверхні валків (порівняно з прокаткою у двох насічених валків) забезпечило зниження навантаження головного приводу на 10... 15%. Однак застосування валків з різною шорсткістю призводить до нерівномірного розподілу крутних моментів між верхнім і нижнім шпинделями (більший момент відповідає верхньому насіченому валку). З метою вирівнювання нижнього шліфованого валка роблять більшим, ніж насіченого і при цьому максимальна допустима різниця діаметрів становить 10 мм. Використання - робочих валків різних діаметрів суттєво полегшує їх комплектацію при перевалках та знижує їх витрати. Гарячекатані травлені рулони подають на приймальний стіл і затискають конусами розмотувача. Тягучі ролики транспортують передній кінець штаби до кліті з розведеними валками і заправляють у моталку. У першому проході штабу перемотують на моталку без обтиснення, а деякий натяг заднього кінця штаби утворюють роликовою прес-проводкою, яка встановлена перед кліттю. Після цього стан реверсують і задній кінець заправляють у моталку, забезпечивши на моталці 1,5-2 витка штаби. Такої кількості витків достатньо для того, щоб барабан моталки не прокручувався в рулоні. Потім прокатка штаби здійснюється за режимами, які представлені в таблиці 1.1, які відрізняються інтенсивною деформацією металу у валках. При таких деформаціях потужність встановленого головного приводу (двигуна) використовується повністю. Товщина штаби у кожному проході контролюється ізотопним товщиноміром. На цьому стані ділянку шва рулону прокатують на

уповільненій швидкості (1,5- 2 м/с), а в кінці проходу стан зупиняють без видачі кінця штаби з моталки і роблять реверсивну прокатку. Після закінчення прокатки рулону піднімають валки і змотують необтиснений кінець штаби на моталку. Готовий рулон обв'язують смужкою, маркують і електромостовим краном передають на склад. Реверсивний стан «1680» складається з чотиривалкової кліті та обслуговуючої її обладнання: підвідного роликового похилого конвеєра, поворотного столу, розмотувача, роликової прес-проводки, двох моталок - барабанного типу, знімача рулонів.

Натискні гвинти рухаються від двох електродвигунів потужністю по 40 кВт. Кожен електродвигун з'єднаний муфтою з черв'яком редуктора ($u = 24,5$), вал черв'ячного колеса якого з'єднаний муфтою з черв'яком редуктора ($u = 32,5$). Електродвигуни натискного пристрою з'єднані електромагнітною муфтою для забезпечення спільної або роздільної муфтою роботи натискних гвинтів. Контроль руху натискних гвинтів здійснюється за допомогою сельсина БД-501, який через циліндричну пару редуктора з'єднаний з черв'яком редуктора ($u = 32,5$). Верхнє положення натискного витка обмежується командоапаратом. Швидкість переміщення натискних гвинтів: при обтисканні – 9,96 мм/хв; при зворотному ході – 14,58 мм/хв

Таблиця 1.1 – Характеристика прокатних валків

Найменування	Розміри, мм							Маса кг
	Бочка		Довжина	Шийка		Треф		
	Діаметр			Діаметр	Довжина	Діаметр	Довжина	
	Максимальний	Мінімальний						
Робочий	510	470	1680	260	250	250	260	3320
Опорний	1420	1370	1680	Конус 890/734	780	-	-	31650

Опорні валки - складені: бандаж з кованої сталі марки 9ХФ з твердістю 70-85 одиниць за Шором [4]. «Серцевина» - з кованої сталі марки 40ХІ2МА з твердістю 30-55 одиниць по Шору. Робочі валки - з кованої сталі марок 9Х2, 9Х2МФ, 7Х2СМФ з твердістю бочки 90-105 одиниць по Шору. Врівноваження верхнього опорного валка здійснюється за допомогою механізму врівноваження, що складається з гідравлічного циліндра діаметром 400 мм, розташованого в розточенні верхніх поперечок станин, двох щік і системи важелів і тяг. Щоки своїми кінцями входять у спеціальні гнізда подушок верхніх опорних валків та за рахунок підйомної сили гідравлічного циліндра притискають подушки верхнього опорного валка до натискних гвинтів. Завдяки шарнірності з'єднання вся система може самовстановлюватися і передавати однаковий тиск на обидва приливи кожної подушки. Під час роботи стану тиск мастила в циліндрі дорівнює 100 кг/см, а під час перевалки опорних валків, коли одночасно потрібно підняти обидва валка, тиск збільшується до 200 кг/см. Роликова прес-проводка, призначена для правильного завдання штаби по осі стану, підтримування переднього кінця штаби перед заправкою у валки та створення натягу при виході заднього кінця штаби з розмотувача. Корпус прес-проводки складається з верхньої та нижньої рам, скріплених між собою болтовим з'єднанням, в яких закріплені дерев'яні вкладиші. У нижній рамі прес-проводки, з зовнішнього боку, прикріплені роликові напрямні для центрування штаби по осі стану. Розмір горизонтального переміщення прес-проводки - 340 мм. Висота підйому 125 мм. Діаметр пневматичного циліндра механізму підйому 250 мм. Тиск масла в циліндрі механізму горизонтального переміщення - 30 кг/см².

Моталки барабанного типу встановлені з передньої та задньої сторін кліті.

Діаметр барабана моталки - 760 мм.

Довжина бочки барабана - 1300 мм.

Зменшення діаметра барабана під час складання - 11 мм.

Натяг штаби - до 12т.

Число оборотів барабана моталки - 28,5/104,37 об/хв.

Привод від 2-х двигунів потужністю по 485 кВт, n = 330/1150 об/хв,

передавальне число редуктора $u = 3,05$.

Кожна моталка обладнана притискними роликками, закріпленими в звареній рамі з вертикальними напрямними, в яких за допомогою пневматичного циліндра переміщується траверс притискних роликів. Призначення притискних роликів – запобігання розпушування рулонів при випуску заднього кінця штаби з валків або при розривах штаби в процесі прокатки [5].

Знімання рулонів призначене для зняття рулону з барабана моталки і подачі його на приймальний стелаж. Складається з візка з вилкою підйомного столу, горизонтального гідравлічного циліндра та рухомого настилу.

Приймальний стелаж із перекидачем призначений для прийняття прокатаного рулону зі столу знімача. Складається з наступних вузлів: перекидання теля з приймальним столом, плит та упору. Довжина приймального стелажу - 19500 мм. Кількість рулонів, що одночасно знаходяться на стелажі до 10 шт. Перекидач приводиться в дію від гідравлічного циліндра. Реверсивний стан «1680» обладнаний радіоізотопним вимірником товщини РТ7015 встановленим за робочою клітиною.

Підкатом для стану служать гарячекатані травлені з промасленою бавовняною емульсією поверхнею штаби в рулонах:

Внутрішній діаметр рулону	– 720 – 740мм
Зовнішній діаметр рулону	– 1150 – 1600 мм
Максимальна маса рулону	– 12 т
Максимальний зовнішній діаметр рулону	– 1600 мм
Внутрішній діаметр холоднокатаного рулону	– 760 мм

Марки сталі, розміри підкату та готової штаби наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Сортамент металу реверсивного стану «1680»

Марка сталі	Товщина, мм	
	гарячекатаного підкату	холоднокатаних смуг
08КП, 80ПС, 10КП	2,5	0,7
10ПС, 08Ю, Ст 1 К П	2,7	0,8 – 0,9
Ст 1 ПС	3,0	1,0-1,3
15КП, 15ПС, СтО	2,7	0,8-1,0
Ст 2ПС, Ст 2КП	3,0	1,2-1,3
Ст 3КП, Ст 3ПС	3,5	1,4-1,6
10, 15, 20 КП , 20ПС	2,3	0,8

Таблиця 1.3 – Режим прокатки із штаби реверсивного стану «1680»

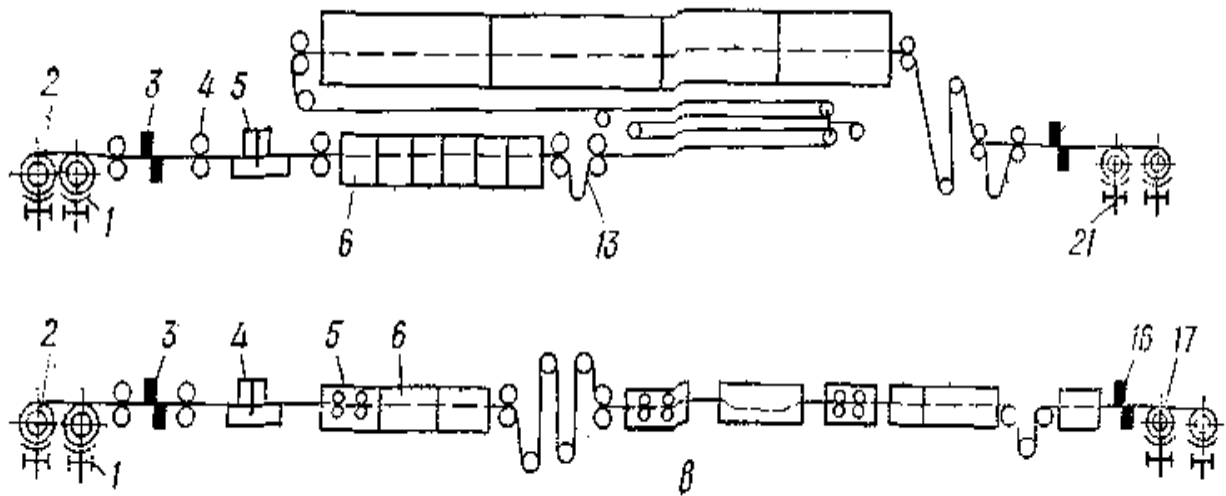
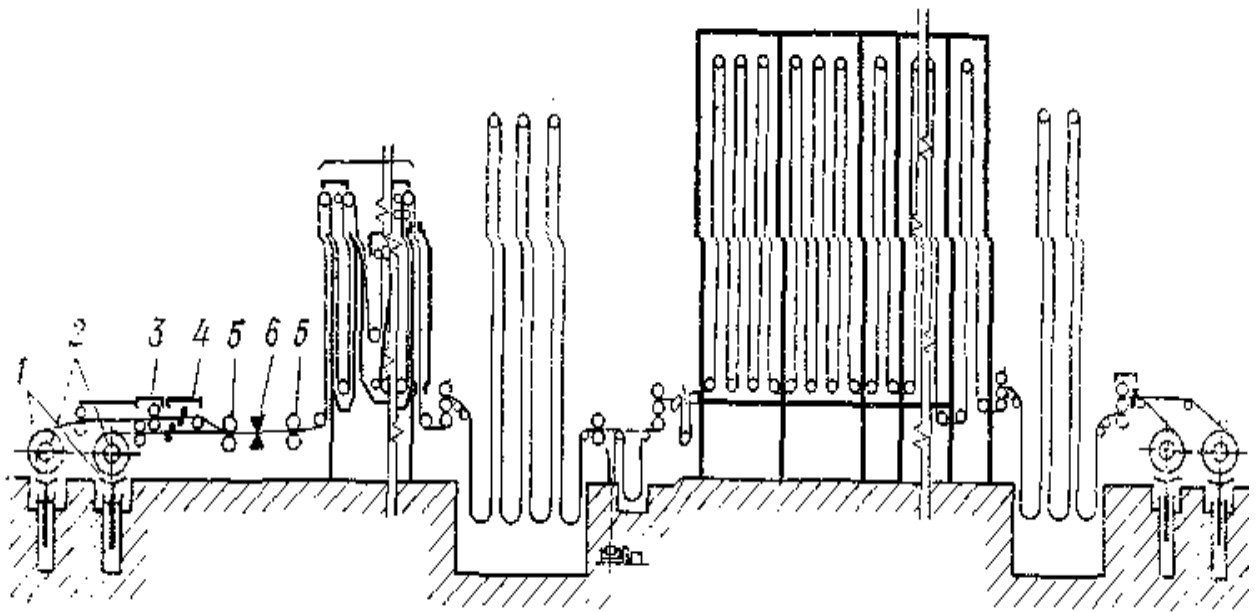
Вихідна та кінцева товщина штаби	№ проходу	Товщина штаби, мм		Обтискання за прохід		Сумарне обтиснення	
		До проходу	Після проходу	абсолютне, мм	%	абсолютне, мм	відносне, мм
Для сталей марок 08КП, 08ПС, 10КП, 10ПС, 15 К П, 15ПС, Ст 1КП, Ст 1ПС							
3,0-1,0	1	перемоту					
	2	3,0	2,2	0,8	26,7	1,5	66,6
	3	2,2	1,7	0,5	22,7		
	4	1,7	1,3	0,4	23,5		
	5	1,3	1,0	0,3	23,1		
1	3,0	2,15	0,85	28,4	1,7		
2	2,15	1,6	0,55	25,6			
3	1,6	1,3	0,3	18,7			
4	1,30	1,1	0,2	18,4			
5	1,1	0,97	0,13	11,8			
3,8-1,8	1	3,0	2,7	1,1	29	1,8	52,6
	2	2,7	12,05	0,65	24		
	3	2,05	1,75	0,3	14,6		

У процесі холодної деформації відбувається зміцнення металу, зниження пластичних властивостей та утворення текстури з витягнутими за напрямом прокатки зернами. При цьому границя плинності металу зростає зі збільшенням

обтиснення, а відносно подовження зменшується для сталі 08КП з 40% до 10 мм 1,5%, тобто метал практично втрачає свої пластичні властивості. Тому зміцнений метал не можна застосовувати для штампування. Для зниження зміцнення холоднокатаної сталі застосовують світлий рекристалізаційний відпал, який здійснюється у захисній атмосфері для запобігання окисленню металу. Агрегати безперервного відпалу наведено на рисунку 1.2. Так як зазвичай сумарний ступінь обтиснення сталі під час холодної прокатки становить 60-75%, то температура відпалу в ковпакових печах знаходиться в межах точки A_c1 ($t = 650-710^\circ C$). Одноступна ковпакова піч включає: стенд, на який встановлюються рулони, нагрівальний ковпак, муфель, конвекторні прокладки. Висота ковпака становить 5800 - 6000 мм внутрішній – 3000-4000 мм. Після установки рулонів на стенд, стопу накривають муфелем, і навколо нього ретельно підгортається і роблять холодну і гарячу продування у вигляді N_x -газу, в якому є 1,5-2,5 %; < 0,5% CO_2 ; 1,7 - 2,4 H_2 ; інше азот. Продування підмуфельного простору роблять для видалення повітря. Тепловий режим відпалу складається з періодів: підйом температури в печі до заданої; витримка при температурі 650-710°C протягом 14-25 годин залежно від марки сталі; охолодження під муфелем до $t = 140^\circ C$ (зняття муфеля при температурі вище $140^\circ C$ призводить до окислення поверхні штаби у вигляді кольорів втечі). В результаті світлого відпалу штаби зі сталі 08КП (ПС) границя плинності знижується з 700 Н/мм^2 до $230 - 250 \text{ Н/мм}^2$, а границя міцності знижується з 750 до $300 - 320 \text{ Н/мм}^2$.

Рулони після відпалу, попередньо очищені стисненим повітрям від піску та пилу передаються у відділення листооздоблення. Після охолодження на складі рулонів до температури $40^\circ C$ метал призначається на дресирувальний стан 1700, який складається з однієї кліти і призначений для дресування штаби товщиною 05 - 2,0 мм, шириною 850 - 1500 мм масою рулону до 15 тонн.

Дресування – це прокочування штаби з невеликим обтисканням (0,8 – 1,5%). Стан включає чотиривалкову кліть, розмотувач, натяжне пристосування штаби, моталку, пристосування для гідрорегулювання прогину робочих валків і прилади контролю величини обтискання.

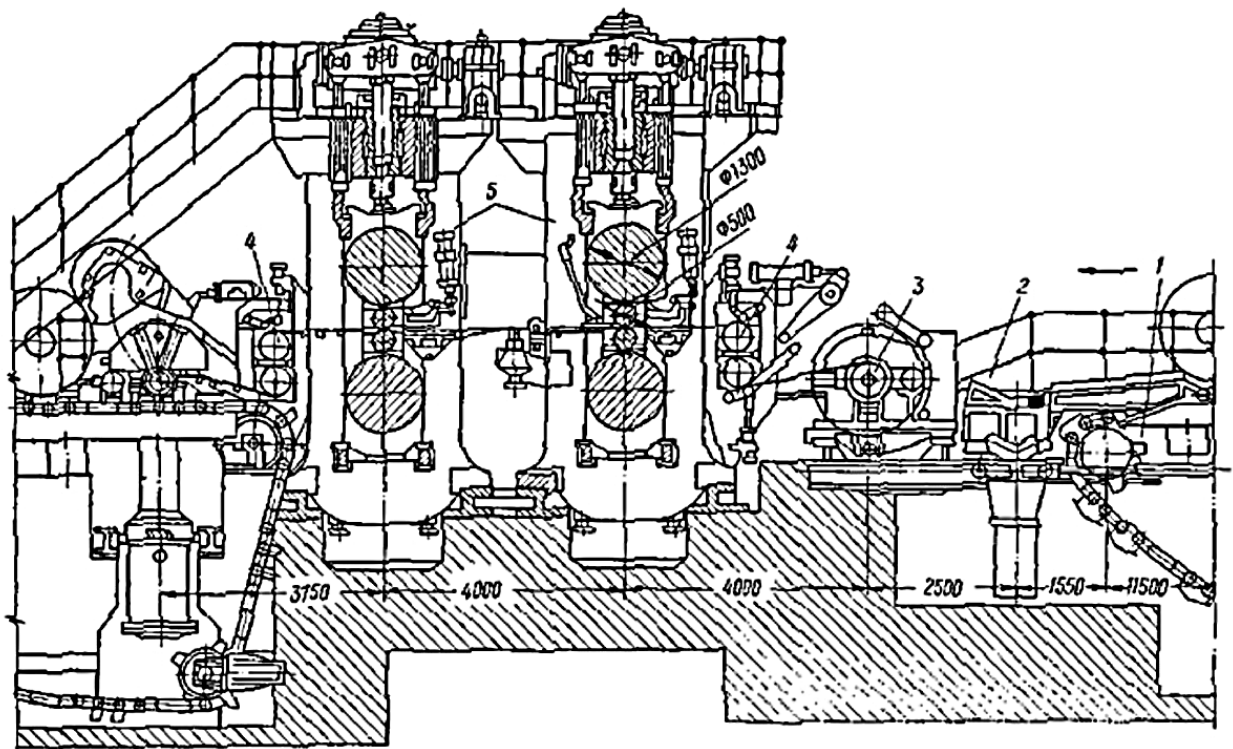


- а) – тонкої жерсті з баштовими печами; б) - обезвуглецевуючого відпалу трансформаторної сталі; в) - агрегат нанесення ізоляційного покриття.
- 1,2 – розмотувачі; 3 – тягнучі ролики; 4 – гільотинні ножиці; 5 – подаючі ролики; 6 – зварювальна машина; 8 – тягнучі ролики;

Рисунок 1.2 – Агрегати безперервного відпалу

Дресування роблять за один прохід при швидкості 10-20 м/с з метою підвищення пластичних властивостей металу та надання поверхні штаби необхідної шорсткості або мікрорельєфу, які забезпечують хороше адгезування покриття (фарби). Під час прокатки з обтисканням 0,8-1,5% здійснюється зміцнення поверхневого шару штаби. Дресування проводять у робочих валках з насиченою поверхнею та отримують штабу з шорсткістю $R_a = 1,5 - 1,8$ мкм. Такі листи мають більші витяжні властивості при штампуванні, ніж листи з гладенькою поверхнею

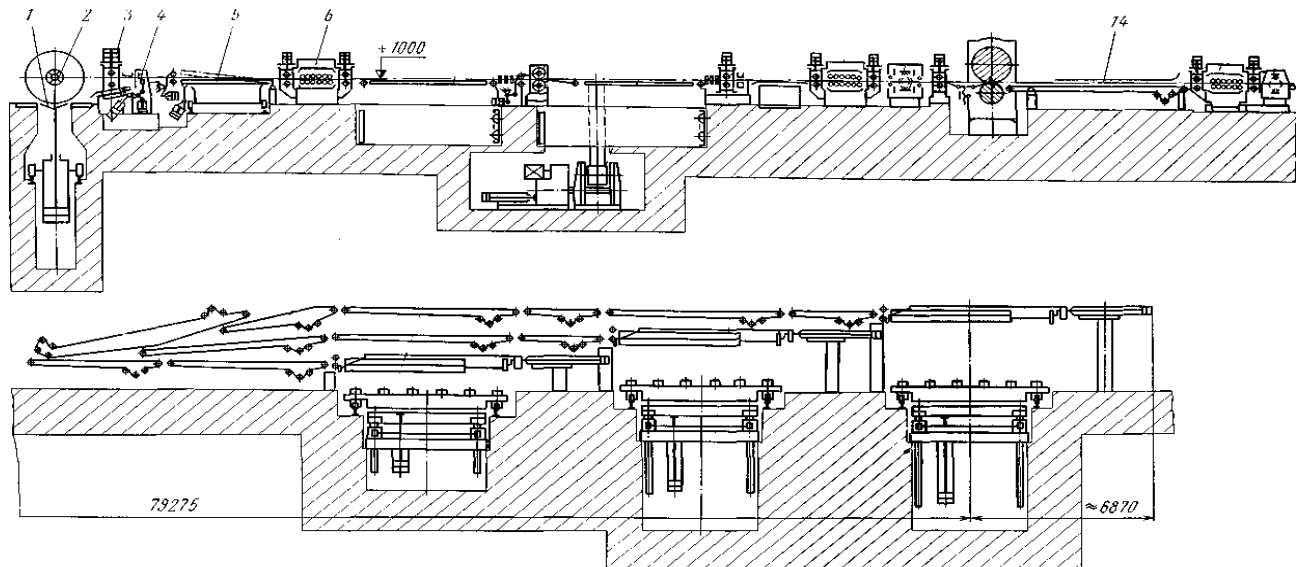
Після дресування рулони відвантажують споживачеві або ріжуть на листи відповідної довжини на агрегатах поперечного різання або на вузькі штаби на агрегаті поздовжнього різання. Схема дресувального стану представлена на малюнку 1.3.



1 - транспортер, що подає; 2 - стіл з упором; 3 - приводні головки; 4 - натяжні ролики; 5 - робочі кліті; 6 - моталки

Малюнок 1.3 – Дресувальний безперервний чотиривалковий стан.

Різання холоднокатаної штаби або поздовжній розпуск штаби остання операція технологічного процесу виробництва холоднокатаних листів [5]. Для різання штаби на листи встановлено три агрегати поперечного різання, а для різання штаби на стрічки агрегат поздовжнього різання. Схема агрегату поперечного різання наведено малюнку 1.4.



1 – переміщуємі під’ємний стіл; 2 – консольний барабан; 3 – магнітний відгинач; 4 – гильотинні ножиці; 5 – нахилений стіл; 6 – ролико-правильна машина; 14 – стіл.

Рисунок 1.4 – Схема безперервного агрегату поперечного різання рулонної штаби

Агрегати поперечного різання забезпечують отримання оброчних листів довжиною 1500 - 3950 мм товщиною 0,5 - 2,0 мм. Швидкість руху лінії АПР 0,5 - 2,5 м/с на цих агрегатах, крім різання на мірні довжини, здійснюють всі інші операції обробки листів: правку, сортування, промаслювання готових листів і т.д.

Після різання пачки листів упаковують і здають на склад або відправляють на додаткове сортування залежно від вимоги замовника.

Агрегат поздовжнього різання призначений для різання штаби товщиною 0,5 - 2,0 мм, шириною 700 - 1500 мм на вузькі стрічки шириною до 80 мм зі швидкістю 1,5-7 м/с.

При сортуванні холоднокатаної сталі виявляють поверхневі дефекти: відбитки, надави, подряпини, іржа, вкатана крихта на поверхні листа, тонкий або товстий лист, серповидність штаби, кольори побіжності, телескопічність. Поверхня холоднокатаної штаби та листів є своєрідним відображенням їх виробництва на всіх етапах технологічного процесу – від виплавки сталі до пакування готової продукції. Рівень досконалості будь-якої технологічної операції та застосовуваного для її виконання обладнання, ступінь і характер відхилення процесу від встановленого інструкцією, обов'язково вплине на якість поверхні та властивості тонколистової продукції.

1.2 Аналіз технічних рішень спрямованих на підвищення ефективності роботи приводу прокатного стану

Як показують дослідження, одним із головних чинників, що викликає простої прокатного обладнання пов'язані з аврійними ремонтами є виникнення навантажень коливального характере. Найбільш вразливими до дії коливальних навантажень можна віднести обертові маси у вигляді шпindelьних пристроїв [6-8].

Шпindelі призначені для передачі робочим валкам прокатної кліті обертання і крутних моментів від шестеренної кліті або безпосередньо від головних електродвигунів, тому від їхньої роботоzдатності залежить ритмічність роботи прокатного стану в цілому [9].

Правильний підбір шпindelьних пристроїв в залежності від призначення прокатного стану та асортименту продукції, що на ньому виготовляється дозволяє досягти максимального економічного ефекту, з точки зору запобігання не запланованих, аврійних простоїв обладнання [10].

Основні конструкції шпindelних пристроїв, що використовують в прокатному виробництві наведено в роботах [11], розглянемо основні їхні переваги та недоліки.

Велике поширення в прокатному виробництві одержали універсальні шпindelі з шарніром тертя ковзання, що відрізняються високою міцністю шарнірних елементів і компактністю.

Шарнір тертя ковзання з бронзовими вкладишами (рис. 1.5) утворюється лопаттю 1 з боку валка або лопаттю 2 з боку приводу; головкою (вилкою) 3 шпindelя, що має циліндричну росточку; бронзовими сегментними вкладишами 4 і сухарем 5. Оскільки при прокатці відстань H між валками і кут нахилу 6 шпindelя змінюються, то один шарнір має бути «плаваючим» в осьовому напрямку, а інший - фіксованим. Так як зміна валків здійснюється найчастіше в горизонтальному (осьовому) напрямку, плаваючим роблять шарнір з боку валка - в лопаті його передбачають проріз для переміщення сухаря 5. З боку приводу у фіксованому шарнірі лопаті передбачено глухий (круглий або прямокутний) отвір для сухаря 5. Ці сухарі на кінцях забезпечені цапфами для з'єднання з вкладишами 4. Для зменшення зносу сухаря його облицьовують бронзовими планками або поміщають в бронзові стакани; застосовують також наплавку бронзи на бічні грані сухаря. Принцип шарніра Гука досягається завдяки можливості повороту в двох перпендикулярних площинах щодо осі розточення головки шпindelя й осі сухаря. Для монтажу бронзових вкладишів 4 в зібраному вигляді з сухарем 5 необхідно, щоб просвіт між щоками (вилками) головки шпindelя був дещо більше хорди (ширини) вкладиша (тобто щоб $n > t$). З метою підвищення міцності головки шпindelя в середині її розточення іноді залишають ребро жорсткості, в цьому випадку кожен бронзовий вкладиш складається з двох половин, які можна міняти місцями при їх нерівномірному зносі; зміна вкладишів здійснюється збоку і не вимагає демонтажу шарніра. Діаметр розточки в голівці звичайно дорівнює половині діаметра головки.

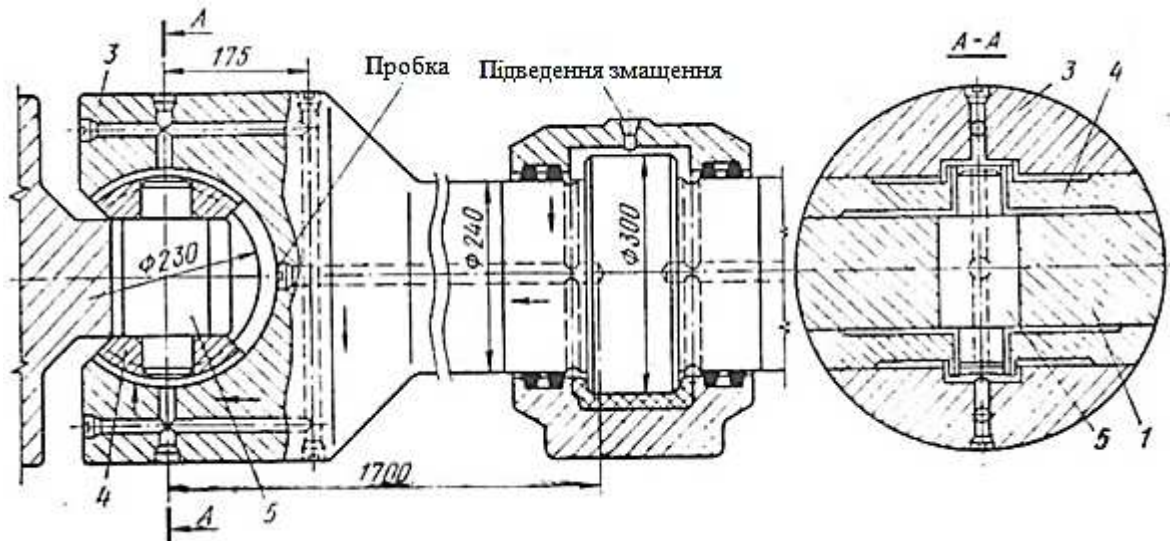


Рисунок 1.5 – Шарнір тертя ковзання з бронзовими вкладишами універсального шпинделя реверсивної чотирьохвалкових кліті 1700 (позиції наведено в тексті)

Шарніри з бронзовими вкладишами мають ряд недоліків: труднощі з підведенням мастила до тертьових поверхонь; нерівномірний та великий знос вкладишів, що викликає значну витрату дорогої і дефіцитної бронзи (маса кожного вкладиша на великих станах досягає 300 кг).

Недоліки універсальних шпинделів поглиблюються при високих швидкостях роботи, характерних для сучасних прокатних станів. Все це спонукає вишукувати більш раціональні конструкції шарнірів.

Досвід заміни бронзових вкладишів пластмасовими (текстолітовими) і біметалічними [12] не дав позитивних результатів через ускладнення з підведенням мастила і охолодженням шарнірів.

Останнім часом широкого поширення набули універсальні шпинделі з шарнірами на вальницях кочення (по типу карданних валів автомобілів).

Конструкція шпиндельних пристроїв на вальницях кочення для прокатних станів, має в порівнянні з відомими такі особливості:

- кути перекосу шарнірних муфт можуть змінюватися в широких межах;
- стійкість вальниць досить висока;

- шпинделі легко і швидко з'єднуються з прокатними валками;
- у вальницях утримується мастило;
- шпинделі центруються і прості в експлуатації.

Велика вантажопідйомність вальниць досягається завдяки раціональній конструкції шарнірних муфт: вальниці розташовані біля зовнішньої поверхні муфти, завдяки чому вдається встановити більш потужні вальниці.

Шпиндельний пристрій складається з двох шарнірних муфт, проміжного валу і двох фланців, один з яких з'єднується з приводним кінцем прокатного валка, а другий - з валом шестеренної кліті (рисунок 1.6).

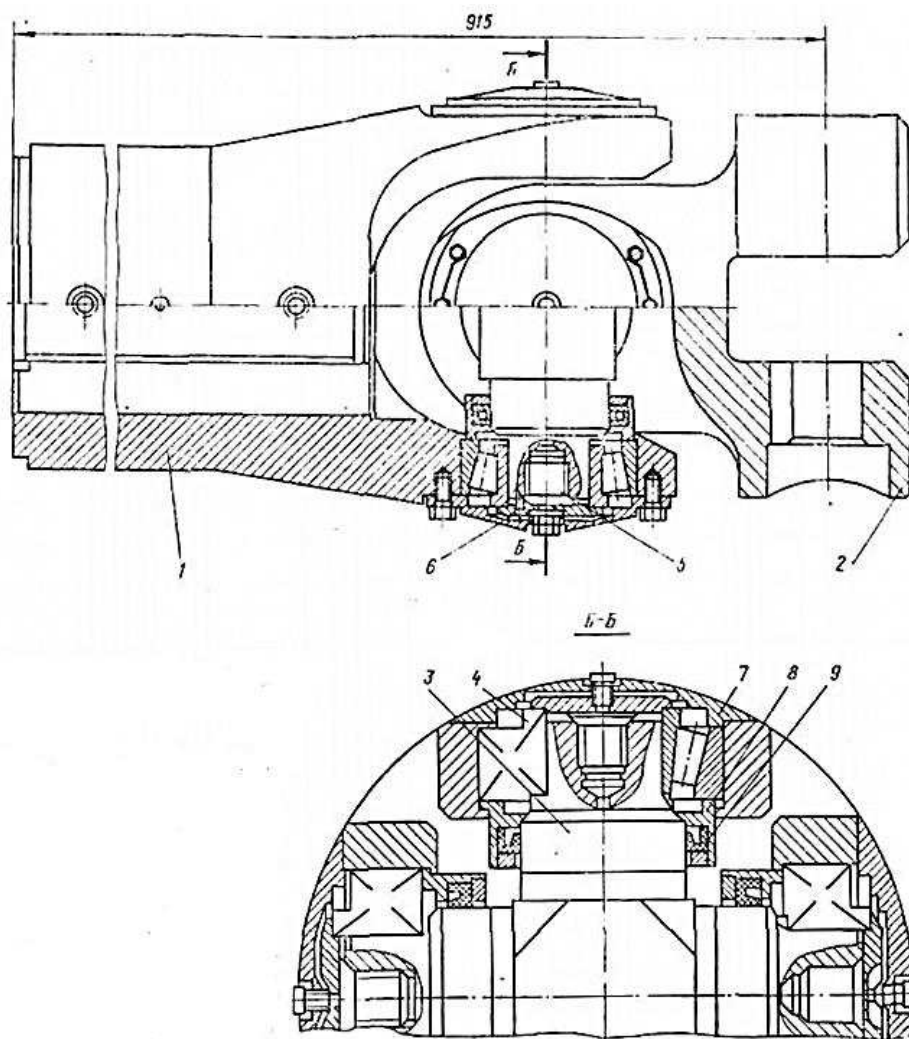


Рисунок 1.6 – Шарнір універсального шпинделя на вальницях кочення
(позиції наведено в тексті)

Шарнір (рис. 1.6) складається з двох напівмуфт 1 і 2, цільної хрестовини 3

і чотирьох вузлів вальниць. До вузла вальниці входить безпосередньо вальниця кочення 4, болти - стягуючий 5 і стопорний 6 та ущільнюючі кришки 7 і 8. В кришку 8 вставлено стандартне ущільнення 9.

Зовнішні кільця вальниць монтують в проточках вушок напівмуфт, а внутрішні - на пальцях хрестовини. Торці вушок мають прямі зрізи, причому ширина вушок в кожній напівмуфті на 10 мм менше відстані між ними.

Таке виконання дозволяє не тільки спростити виготовлення напівмуфт, а й забезпечити нормальне складання та розбирання шарнірних муфт.

Працездатність шпинделів і стабільність роботи станів (особливо трубопрокатних) у великій мірі залежить від точності центрування обертових мас.

У описуваній конструкції центровка напівмуфт досягається тим, що кільця однієї з протилежних вальниць встановлені фіксовано, при цьому зовнішнє кільце впирається в борт напівмуфти, а внутрішнє притискається до виступу хрестовини. Відстань від осі до виступів при виготовленні витримують строго визначеним. Зазори у вальницях регулюють переміщенням внутрішнього кільця протилежної вальниці.

У запропонованій конструкції шпинделя із зовнішнього боку, куди відкидається мастило при обертанні, застосована глуха кришка, а з внутрішнього - стандартне гумове ущільнення.

Слід зазначити, що в застосуванні шарнірів на вальницях кочення для передачі великих крутних моментів (до 2-3 МНм) є труднощі, пов'язані з обмеженою вантажопідйомністю вальниць кочення.

Для приводу валків чистових клітей широкоштаблвих станів (крутний момент на одному шпинделі 0,3-0,5 МНм), валків жестепрокатних і дресирувальних станів при великих швидкостях прокатки (до 30 м/с) застосовують шарніри типу подовжених зубчастих муфт, зуби яких оброблені зовні по сфері і мають перетин бочкообразної форми.

Використовують також зубчасті шпинделі, що включають, крім звичайної зубчастої муфти і проміжного вала, запобіжну муфту із зрізними болтами. Однак

деякі конструкції муфт не володіють достатньою працездатністю. Причина цього полягає в низькій точності установки зрізних болтів. Крім того, зрізні болти сприймають радіальні зусилля від маси проміжної частини шпинделя і зусилля, що виникають в зубчастому зачепленні муфти через неточності виготовлення і неконцентричність установки. На практиці це призводить до змінання зрізних болтів і частої заміни їх (щодоби або зміну) незалежно від режиму роботи стану.

Шпиндельні з'єднання з зубчастими муфтами, показане на рисунку 1.7, містить: з'єднувальний вал 1, зубчасту муфту, що складається з зубчастої втулки 2, зубчастої обойми 3 і розпірного кільця 4 запобіжну муфту із зрізними пальцями, що складається з зубчастої втулки 5, зубчастої обойми 6, сферичної роликівальниці 7, розміщеної на шийці вала 1; запобіжних болтів 8 і центрувальних втулок 9. Між зубчастою обоймою 6 і напівмуфтою 10, установлюваної на валу головного привода, розміщена проміжна обойма 11 з сферичною роликівальницею 12, зовнішнє кільце якої контактує з зубчастою обоймою 6.

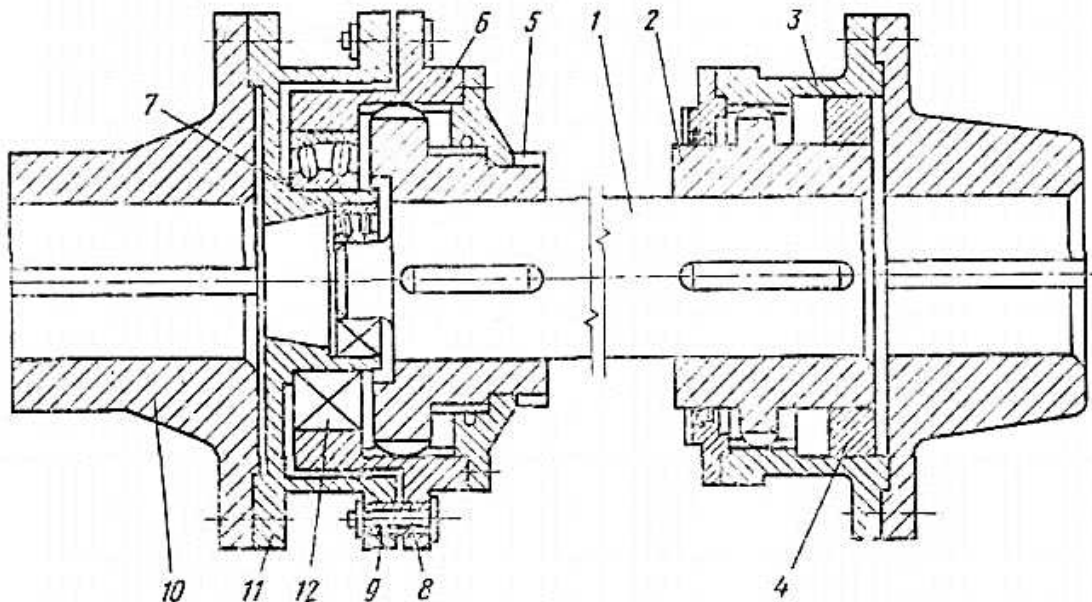
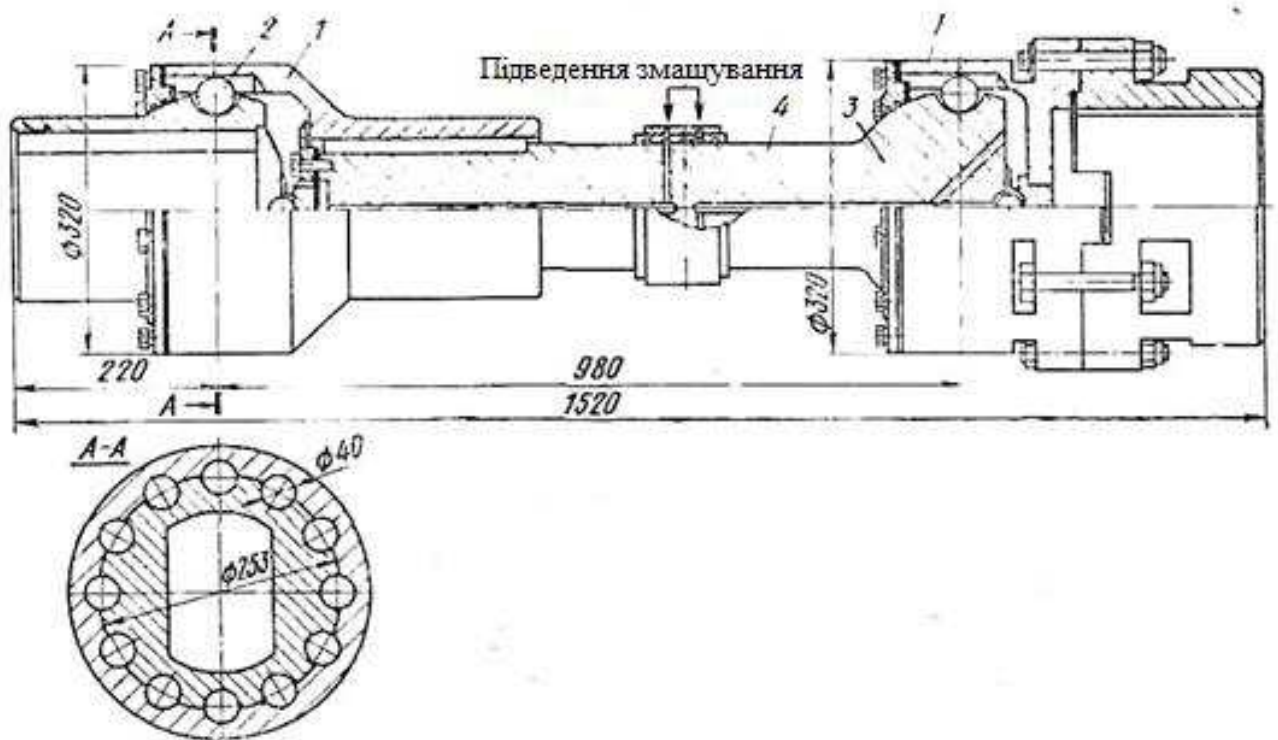


Рисунок 1.7 – Шпиндельні з'єднання з зубчастими муфтами для приводу валків стану поперечно-гвинтової прокатки (позиції наведено в тексті)

Для приводу валків чистових клітей безперервних дрібносортових і дротяних станів, що працюють при великих частотах обертання (до 2000 хв^{-1}), універсальні шпинделі з бронзовими вкладишами і шпинделі з шарнірами на підшипниках кочення (карданні вали) повинні володіти підвищеною надійністю; перший - через незадовільні умов змащення і швидкого зносу вкладишів, а другі - через незначну довговічності хрестовин з підшипниками кочення. При застосуванні цих шпинделів виникає сильна вібрація валків при прокатці. На деяких із зазначених вище станів була зроблена спроба застосувати кулькові (або роликові) універсальні шпинделі. Конструкція кулькового шпинделя показана на рисунку 1.8



1 - зовнішні обойми з внутрішніми напівциліндричними пазами для куль; 2 - стандартні кулі; 3 - кінець шпинделя зі сферичною головкою і напівсферичними лунками для куль; 4 - вал шпинделя з отвором для підведення мастила

Рисунок 1.8 – Конструкція кулькового шпинделя для приводу валків дрібносортового і дротяного безперервних станів 250

У шарнір шпинделя безперервно подається густе мастило від централізованої системи через стаціонарне середнє кільце. Вібрація шпинделів і валків повністю усунена [11].

1.3 Пропозиції, щодо вдосконалення приводу робочої кліті та обґрунтування обраного напрямку

Як уже було сказано в попередньому розділі, однією із проблем роботи приводу прокатної кліті є незадовільна служба шарнірів з бронзовими вкладишами (утруднення з підведенням мастила, нерівномірний і великий знос вкладишів, що викликає значну витрату дорогої бронзи).

Тому як модернізація пропонується застосування шпинделів із зубчастими муфтами, які використовуються для приводу валків шестернепрокатних та дресирувальних станів при великих швидкостях прокатки (до 30 м/с). Такі зубчасті шпинделі показали хороші результати в експлуатації, вони здатні компенсувати всі можливі зміщення валів – осьове, радіальне та кутове.

Муфта складається з двох закріплених на кінцях валів втулок із зовнішніми зубами евольвентного профілю і охоплює їх обойми з внутрішніми зубами евольвентного профілю і охоплює їх обойми з внутрішніми зубами. Таким чином, передача крутного моменту здійснюється зубчастими парами (жорстка муфта).

Для компенсації зсувів валів у муфтах передбачені торцеві зазори, вершина зубів втулок обробляються по сферичній поверхні, зубчасте зачеплення виконують із збільшеними бічними зазорами, а бічним поверхням зубів надають (радіальну) бочкоподібну форму. Залежно від розміру зубчасті муфти допускають радіальне зміщення до 8 мм і кутове зміщення до 10°.

Деталі зубчастих муфт виготовляють із сталі марок 45 і 40Х або зі сталевого лиття 45Л. Зубці втулок термообробляють до твердості не нижче НВ 350. Для зменшення зносу зубів у муфту через отвір в обоймі заливають мастило великої в'язкості. Наявність мастила, крім того, певною мірою пом'якшує удари.

Врівноваження верхнього та нижнього шпинделів планується гідравлічне, що здійснюється за допомогою трьох циліндрів, на плунжери яких спираються опори 5 середніх вальниць. Тиск робочої рідини у циліндрах гідравлічного врівноважування 300 Н/см^2 (30атм). Змащення зубчастих зачеплень – рідке заливне (періодично) або густа заставна; мастило середніх бабітових вальниць – рідке циркуляційне.

Мета розробки покращення роботи стану досягається наступним:

- підвищення надійності роботи забезпечується покращенням динамічних характеристик всіх елементів головної лінії приводу за рахунок використання технічних рішень, заснованих на апробованих елементах та вузлах, експлуатація яких протягом тривалого часу підтвердила їхню високу надійність;
- зниження витрат електроенергії забезпечується заміною обладнання з елементами тертя ковзання в головній лінії приводу елементами на вальницях кочення;
- зменшення інших експлуатаційних витрат забезпечується застосуванням вузлів із заставним ресурсним мастилом замість мастила поливом, використанням рішень, що відрізняються меншими обсягами та періодичністю поточних ремонтів.

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати розрахунок основних конструктивних параметрів запропонованої конструкції шпиндельного пристрою та виконати експериментальне дослідження на лабораторній установці впливу зазорів на динамічні навантаження в приводі головної лінії прокатного стану.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок технологічних параметрів прокатки

Згідно з технологічною картою стану в якості вихідної заготовки приймаємо гарячекатану штабу перерізом 2,7 x 1500 мм, згорнута в рулон масою 2 т. Схему прокатки приймаємо таку: 2,7 – 1,9 – 1,35 – 1,1 – 0,92 – 0,8.

Визначаємо абсолютні та відносні обтискання по проходах за формулами:

$$\Delta h_i = h_{i-1} - h_i, \quad (2.1)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h_i}{h_{i-1}} \cdot 100\% . \quad (2.2)$$

Тоді згідно проходів:

$$\text{№1: } \Delta h_1 = 2,7 - 1,9 = 0,8_{\text{мм}}, \quad \varepsilon_1 = \frac{0,8}{2,7} \cdot 100 = 29,6\% ;$$

$$\text{№2: } \Delta h_2 = 1,9 - 1,35 = 0,55_{\text{мм}}, \quad \varepsilon_2 = \frac{0,55}{1,9} \cdot 100 = 29,8\% ;$$

$$\text{№3: } \Delta h_3 = 1,35 - 1,1 = 0,25_{\text{мм}}, \quad \varepsilon_3 = \frac{0,25}{1,35} \cdot 100 = 18,5\% ;$$

$$\text{№4: } \Delta h_4 = 1,1 - 0,92 = 0,18_{\text{мм}}, \quad \varepsilon_4 = \frac{0,18}{1,1} \cdot 100 = 16,3\% ;$$

$$\text{№5: } \Delta h_5 = 0,92 - 0,8 = 0,12_{\text{мм}}, \quad \varepsilon_5 = \frac{0,12}{0,92} \cdot 100 = 13,1\% .$$

Сумарне обтиснення:

$$\Delta h_\eta = 2,7 - 0,8 = 1,9_{\text{мм}}, \quad \varepsilon_\xi = \frac{1,9}{2,7} \cdot 100 = 70,4\% \quad .(2.3)$$

Визначаємо кути захвату по проходах за формулою:

$$\alpha_i = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_i}{D}\right), \quad (2.4)$$

де D – Діаметр бочки робочих валків $D = 460$ мм;

Для кожного проходу:

$$\alpha_1 = \arccos\left(1 - \frac{0,8}{460}\right) = 3,38^\circ;$$

$$\alpha_2 = \arccos\left(1 - \frac{0,55}{460}\right) = 2,8^\circ;$$

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{0,25}{460}\right) = 1,89^\circ;$$

$$\alpha_4 = \arccos\left(1 - \frac{0,18}{460}\right) = 1,6^\circ;$$

$$\alpha_5 = \arccos\left(1 - \frac{0,12}{460}\right) = 1,31^\circ.$$

Отримані значення кутів захоплення не перевищують допустимі $3 \div 5^\circ$. Отже, захоплення здійснюватиметься. Середнє значення опору металу при холодній прокатці визначається за виразом:

$$\sigma_T = 0,8(\sigma_{i-1} + \sigma_i), \quad (2.5)$$

де σ_{i-1} , σ_i – Опір деформації металу відповідно до i після проходу, що визначаються за формулою А.В. Третьякова [13]:

$$\sigma_i = a + b\varepsilon_\xi^m, \quad (2.6)$$

a, b, m – дослідні коефіцієнти [13].

Для сталі 08КП [14] маємо $a = 230\text{МПа}$, $b = 34,6\text{МПа}$, $m = 0,6$. Підставляємо ці значення формулу і враховуючи, що з першого проходу $\varepsilon_{\xi} = 0$, а після першого проходу $\varepsilon_{\xi_1} = 29,63\%$, отримаємо:

$$\sigma_0 = 230 + 34,6 \cdot 0 = 230\text{МПа};$$

$$\sigma_1 = 230 + 34,6 \cdot 29,63^{0,6} = 494,31\text{МПа};$$

$$\sigma_2 = 230 + 34,6 \cdot 50^{0,6} = 591,62\text{МПа};$$

$$\sigma_3 = 230 + 34,6 \cdot 59,26^{0,6} = 630,62\text{МПа};$$

$$\sigma_4 = 230 + 34,6 \cdot 65,93^{0,6} = 657,1\text{МПа};$$

$$\sigma_5 = 230 + 34,6 \cdot 70,37^{0,6} = 674,13\text{МПа}.$$

Середній опір металу по проходам:

$$\sigma_{T_1} = 0,5(230 + 494,31) = 362,15\text{МПа};$$

$$\sigma_{T_2} = 0,5(494,31 + 591,79) = 543,05\text{МПа};$$

$$\sigma_{T_3} = 0,5(591,79 + 630,62) = 611,21\text{МПа};$$

$$\sigma_{T_4} = 0,5(630,62 + 657,1) = 643,86\text{МПа};$$

$$\sigma_{T_5} = 0,5(657,1 + 674,13) = 665,62\text{МПа}.$$

Напруження натягу штаби між розмотувачем і кліттю стану в середньому становить $0,1 \sigma_T$, між станом і моталкою становить в середньому $0,4 \sigma_T$. З урахуванням цього та технічної характеристики стану питомі натяги штаби приймаються МПа: між розмотувачем і кліттю – 23; між кліттю та моталкою – 120.

Визначаємо середній натяг:

$$\sigma_{cp} = 0,5(\sigma_0 + \sigma_1) = (23 + 120) \cdot 0,5 = 71,5 \text{ МПа} .$$

Швидкість штаби після кліті приймається рівною 4,74 м/с. Швидкості штаби до кліті по проходах визначаємо з умови сталості секундних об'ємів металу, що прокочується [15]:

$$v_i h_i = v_{i+1} h_{i+1};$$

$$v_1 = \frac{4,74 \cdot 0,92}{2,7} = 3,34 \text{ м/с};$$

$$v_2 = \frac{4,74 \cdot 1,35}{1,9} = 3,37 \text{ м/с};$$

$$v_3 = \frac{4,74 \cdot 1,1}{1,35} = 3,86 \text{ м/с};$$

$$v_4 = \frac{4,74 \cdot 0,92}{1,1} = 3,96 \text{ м/с};$$

$$v_5 = \frac{4,74 \cdot 0,8}{0,92} = 4,12 \text{ м/с} .$$

Коефіцієнт контактного тертя при холодній прокатці металів та сплавів приймається за досвідченими даними. При прокатці сталей коефіцієнт тертя може бути розрахований за формулою Грудєва:

$$f = K_{II} K_C \left[0,07 - \frac{0,1v_1^2}{2(1+v_i) + 3v^2} \right], \quad (2.7)$$

де K_{II} – коефіцієнт стану поверхні валків, рівний для шліфованих валків 1;

K_i – Коефіцієнт, що враховує вид мастила, при змащуванні водяною емульсією $K_i=1$.

Тоді

$$f = 0.67 - \frac{0,1 \cdot 4,74^2}{2(1 + 4,74) + 3 \cdot 4,74^2} = 0,0415.$$

Довжина пружньодеформованої (сплющеної) дуги захвату визначається за формулою Ю.С. Закова:

$$l_i = C + \sqrt{R_{\Delta} h_i \frac{A}{A-B} + C^2}, \quad (2.7)$$

де A , B і C – умовні параметри [2]:

$$A_1 = \frac{95000}{1,15\sigma_T - \sigma_{cp}}; \quad B = \frac{4}{3} f \frac{R}{h}; \quad C = \frac{R}{A-B} \left(1 - \frac{\Delta h_i}{3h}\right);$$

тут R – радіус робочого валка. $R = 230$ мм.

Для першого проходу:

$$A_1 = \frac{95000}{1,15 \cdot 362,16 - 57,5} = 264,64;$$

$$B_1 = \frac{4}{3} 0,0415 \frac{230}{1,9} = 6,7;$$

$$C_1 = \frac{230}{264,64 - 6,7} \left(1 - \frac{0,8}{3 \cdot 1,9}\right) = 0,77;$$

$$l_1 = 0,77 + \sqrt{230 \cdot 0,8 \frac{264,64}{264,64 - 6,7} + 0,77^2} = 14,53 \text{мм}.$$

Для второго проходу:

$$A_2 = \frac{95000}{1,15 \cdot 543,05 - 50} = 165,36;$$

$$B_2 = \frac{4}{3} 0,0415 \frac{230}{1,35} = 9,43;$$

$$C_2 = \frac{230}{165,36 - 9,43} \left(1 - \frac{0,55}{3 \cdot 1,35} \right) = 1,275;$$

$$I_2 = 1,275 + \sqrt{230 \cdot 0,55 \frac{165,36}{155,93} + 1,275^2} = 12,93 \text{ мм.}$$

Для третьего проходу:

$$A_3 = \frac{95000}{1,15 \cdot 611,21 - 45} = 144,4;$$

$$B_3 = \frac{12,7267}{1,1} = 11,57;$$

$$C_3 = \frac{230}{144,4 - 11,57} \left(1 - \frac{0,25}{3 \cdot 1,1} \right) = 1,6;$$

$$I_3 = 1,6 + \sqrt{230 \cdot 0,25 \frac{144,4}{132,83} + 1,6^2} = 9,67 \text{ мм.}$$

Для четвертого проходу:

$$A_4 = \frac{95000}{1,15 \cdot 643,86 - 40,63} = 135,75;$$

$$B_4 = \frac{12,7267}{0,92} = 13,83;$$

$$C_4 = \frac{230}{135,25 - 13,83} \left(1 - \frac{0,18}{3 \cdot 0,42} \right) = 1,76;$$

$$l_4 = 1,76 + \sqrt{230 \cdot 0,18 \frac{135,75}{121,92} + 1,76^2} = 8,77 \text{ мм.}$$

Для п'ятого проходу:

$$A_5 = \frac{95000}{1,15 \cdot 665,62 - 37,5} = 130,5;$$

$$B_5 = \frac{12,7267}{0,8} = 15,91;$$

$$C_5 = \frac{230}{130,5 - 15,91} \left(1 - \frac{0,12}{3 \cdot 0,8} \right) = 1,91;$$

$$l_5 = 1,91 + \sqrt{230 \cdot 0,12 \frac{130,5}{114,59} + 1,91^2} = 7,83 \text{ мм.}$$

Площу прокатуємого металу з валками визначаємо за формулою:

$$F_i = b_i l_i. \quad (2.8)$$

Ширина штаби стала і дорівнює 1500 мм.

Контактна поверхня першого проходу:

$$F_i = 1500 \cdot 14,53 = 21795 \text{ мм}^2.$$

Інші проходи аналогічно:

$$F_i = 1500 \cdot 12,93 = 19395 \text{мм}^2;$$

$$F_i = 1500 \cdot 9,76 = 14640 \text{мм}^2;$$

$$F_i = 1500 \cdot 8,77 = 13155 \text{мм}^2;$$

$$F_i = 1500 \cdot 7,83 = 11745 \text{мм}^2.$$

Контактний тиск з урахуванням натягу штаби при прокатці визначається за формулою Закова Ю.С. :

$$P_{cp} = 1,15\sigma_T \left(1 + \frac{2fl_i - \Delta h_i}{3h_i} \right) - \sigma_{cp}. \quad (2.9)$$

Прийнявши коефіцієнт тертя $f = 0,0415$ та значення параметрів, що входять до формули підсумкової таблиці 2.1 отримаємо:

$$P_{cp1} = 1,15 \cdot 362,16 \left(1 + \frac{2 \cdot 0,0415 \cdot 14,53 - 0,8}{3 \cdot 1,9} \right) - 57,5 = 388,65 \text{МПа}$$

$$P_{cp2} = 1,15 \cdot 543,09 \left(1 + \frac{0,083 \cdot 12,93 - 0,55}{4,05} \right) - 50 = 655,18 \text{МПа}$$

$$P_{cp3} = 1,15 \cdot 611,21 \left(1 + \frac{0,083 \cdot 9,76 - 0,25}{3,3} \right) - 45 = 777,19 \text{МПа}$$

$$P_{cp4} = 1,15 \cdot 643,86 \left(1 + \frac{0,083 \cdot 8,77 - 0,18}{2,78} \right) - 40,63 = 846,8 \text{МПа}$$

$$P_{cp5} = 1,15 \cdot 665,62 \left(1 + \frac{0,083 \cdot 7,83 - 0,12}{2,4} \right) - 37,5 = 896,97 \text{МПа}.$$

Зусилля прокатки розраховується перемноженням контактного тиску на контактну площу.

$$P_1 = P_{cp1} F_1 = 388,65 \cdot 21795 = 8470,63 \text{кН};$$

$$P_2 = 655,18 \cdot 19395 = 12707,22 \text{кН};$$

$$P_3 = 777,19 \cdot 14640 = 11378,1 \text{кН};$$

$$P_4 = 846,8 \cdot 13155 = 11139,65 \text{кН};$$

$$P_5 = 896,97 \cdot 11745 = 10534,9 \text{кН}.$$

Головна лінія кожної робочої кліті містить: головний електродвигун, шестеренну кліть, шпинделі та сполучну муфту. Приймавши значення ККД:

- для шестеренної кліті $\eta_1 = 0,94$;
- для шпинделів з муфтами $\eta_3 = 0,99$;

визначаємо ККД робочої кліті

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,94 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 0,89. \quad (2.10)$$

Необхідний коефіцієнт плеча моменту прокатки для кожного проходу за формулою:

$$\psi_1 = 0,3 + 0,09 \frac{h_{i-1} + h_i}{l_i}. \quad (2.11)$$

Згідно проходів:

$$\psi_1 = 0,3 + 0,09 \frac{2,7 + 1,9}{14,53} = 0,3285;$$

$$\psi_2 = 0,3 + 0,09 \frac{1,9 + 1,35}{12,93} = 0,323;$$

$$\psi_3 = 0,3 + 0,09 \frac{1,35 + 1,1}{9,76} = 0,323;$$

$$\psi_4 = 0,3 + 0,09 \frac{1,1 + 0,92}{8,77} = 0,321;$$

$$\psi_5 = 0,3 + 0,09 \frac{0,92 + 0,8}{7,83} = 0,32.$$

Моменти прокатки з урахуванням натягу визначаються за формулою [15]:

$$M_{np} = 2p_i \psi_i l_i + (\sigma_0 h_{i-1} - \sigma_1 h_i) b_i R, \quad (2.12)$$

Відповідно для всіх проходів отримаємо:

$$M_{np1} = 2 \cdot 8470,63 \cdot 0,3289 \cdot 14,15 \cdot 10^{-3} + (23 \cdot 2,7 - 9,2 \cdot 1,9) 1,5 \cdot 0,23 = 80,86 + (-38,88) = 42 \text{кНм}$$

$$M_{np2} = 2 \cdot 12707,22 \cdot 0,01293 \cdot 0,323 + (20 \cdot 1,9 - 80 \cdot 1,35) 0,345 = 106,14 - 24,14 = 82 \text{кНм},$$

$$M_{np3} = 2 \cdot 11378,1 \cdot 0,323 \cdot 0,00967 + (18 \cdot 1,35 - 72 \cdot 1,1) 0,345 = 71,08 - 18,94 = 52,14 \text{кНм},$$

$$M_{np4} = 2 \cdot 11139,65 \cdot 0,321 \cdot 0,00877 + (16,25 \cdot 1,1 - 65 \cdot 0,92) 0,345 = 62,72 - 14,46 = 48,26 \text{кНм}$$

$$M_{np5} = 2 \cdot 10534,9 \cdot 0,32 \cdot 0,00783 + (15 \cdot 0,92 - 60 \cdot 0,8) 0,345 = 52,79 - 11,8 = 41 \text{кНм}.$$

Момент тертя M_{mp} у чотирьох валкових клітинах визначається за такою формулою [2]:

$$M_{mp} = P f_n d_{on} \left(\frac{D}{D_{on}} \right), \quad (2.13)$$

де f_n – коефіцієнт тертя у вальницях валків. Для ВРТ $f_n = 0,003$.

d_{on} – діаметр тертя (діаметр шийки валка для текстолітових вальниць, діаметр для вальниць кочення). $d_{on} = 734 \text{мм}$.

D, D_{on} – Діаметр відповідно робочого та опорного валків.

Маємо:

$$M_{mp1} = 8470,63 \cdot 0,003 \cdot 0,734 \left(\frac{460}{1370} \right) = 6,26 \text{кНм};$$

$$M_{mp2} = 12707,22 \cdot 0,0003 \cdot 0,734 \left(\frac{460}{1370} \right) = 9,39 \text{кНм};$$

$$M_{mp3} = 123781 \cdot 0,000739 \cdot 8,4 \text{кНм};$$

$$M_{mp4} = 11139,65 \cdot 0,000739 = 8,23 \text{кНм};$$

$$M_{mp5} = 10534,9 \cdot 0,000739 = 7,79 \text{кНм}.$$

Розраховуємо статичне навантаження за формулою:

$$M_{CT} = \frac{M_{np} + M_{mp}}{\eta}. \quad (2.14)$$

Підставивши в цю формулу отримані значення параметрів, що входять до неї, отримаємо:

$$M_{CT1} = \frac{42 + 6,26}{0,89} = 54,22 \text{кНм};$$

$$M_{CT2} = \frac{82 + 9,39}{0,89} = 102,68 \text{кНм};$$

$$M_{CT3} = \frac{52,14 + 8,4}{0,89} = 68 \text{кНм};$$

$$M_{CT4} = \frac{48,26 + 8,23}{0,89} = 63,47 \text{кНм};$$

$$M_{CT5} = \frac{41 + 7,79}{0,89} = 54,8 \text{кНм}.$$

Потужність прокатки визначається за формулою ($M_{дин} = 0$):

$$N_i = M_{CT} \frac{2v_i}{D}, \quad (2.15)$$

Підставляємо значення та отримуємо,

$$N_1 = 54,22 \frac{2 \cdot 4,74}{0,46} = 1117,4 \text{кВт};$$

$$N_2 = 102,68 \frac{2 \cdot 4,74}{0,46} = 2116 \text{кВт};$$

$$N_3 = 68 \frac{2 \cdot 4,74}{0,46} = 1401,4 \text{кВт};$$

$$N_4 = 63,47 \frac{2 \cdot 4,74}{0,46} = 1308 \text{кВт};$$

$$N_5 = 54,82 \frac{2 \cdot 4,74}{0,46} = 1130 \text{кВт}.$$

Слід врахувати, що у виконанні спрощеному розрахунку не прийнято до уваги динамічний момент, який для стану зазвичай становить 23...35% повного моменту, що крутить, при прокатці. Тому перераховуємо потужність прокатки по проходах з урахуванням динамічних навантажень:

$$N'_1 = 1117,4 \cdot 1,35 = 1508,5 \text{кВт};$$

$$N'_2 = 2116 \cdot 1,35 = 2856,6 \text{кВт};$$

$$N'_3 = 1401,4 \cdot 1,35 = 1891,9 \text{кВт};$$

$$N'_4 = 1308 \cdot 1,35 = 1765,8 \text{кВт};$$

$$N'_5 = 1130 \cdot 1,35 = 1525,5 \text{кВт}.$$

Коефіцієнт перевантаження електродвигуна стану за потужністю визначається за такою формулою [16]:

$$K_i = \frac{N_i}{N_{ном}}, \quad (2.16)$$

де $N_{ном}$ – номінальна потужність електродвигуна стану;

N_i – потужність, що розвивається двигуном по проходах.

Відповідно до характеристики стану номінальна потужність головного двигуна стану становить 1654,4 кВт. Будуємо навантажувальну діаграму роботи привода робочої кліті (рисунок 2.1)

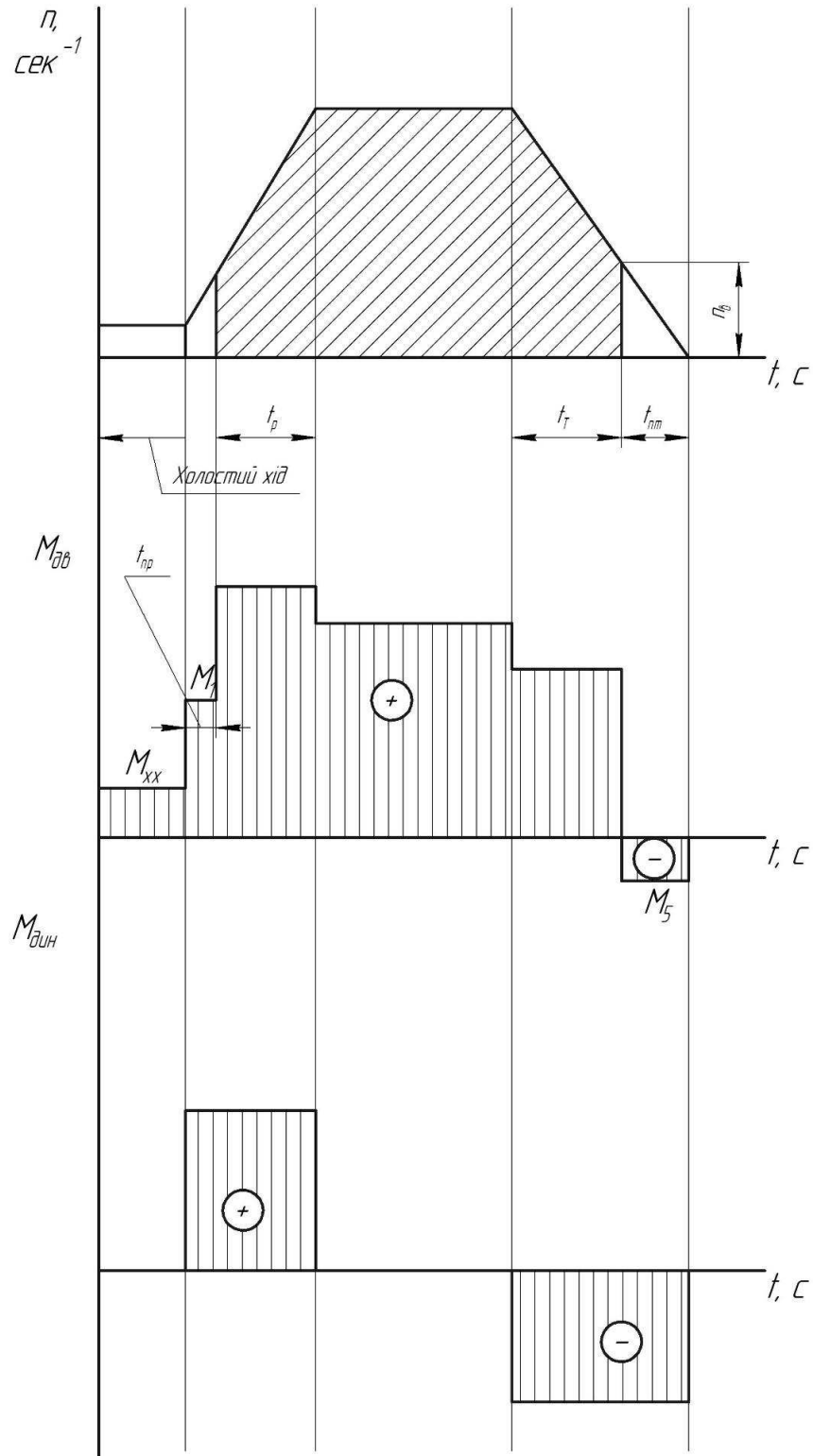


Рисунок 2.1 – Навантажувальна діаграма роботи приводу прокатної кліті

Тоді коефіцієнт перевантаження по проходам:

$$K_1 = \frac{1508,5}{1654,4} = 0,91.$$

$$K_2 = \frac{2856,6}{1654,4} = 1,73.$$

$$K_3 = \frac{1891,9}{1654,4} = 1,14.$$

$$K_4 = \frac{1765,8}{1654,4} = 1,07.$$

$$K_5 = \frac{1525,5}{1654,4} = 0,92.$$

З аналізу отриманих результатів випливає, що прийнятий режим обтискань при холодній прокатці зумовлює роботу головного електродвигуна стану з найбільшим коефіцієнтом навантаження $K_{\max} = 1,73$ у другому проході, який, однак, не перевищує допустимих коефіцієнтів перевантаження $[K] = 2,5-2,75$ [17].

2.2 Розрахунок шестеренної кліти

Основні параметри шестерен шестеренної кліти (міжосьова відстань A або діаметр початкового кола d_0 , модуль, число зубів, ширина шестерен) вибирають з конструктивних міркувань, залежно від типу стану, діаметра робочих валків, висоти їх підйому і передаваемого крутного моменту. Після цього необхідно виконати перевірочний розрахунок передачі. Зуби передач усіх типів розраховують на міцність контактних поверхонь. Як показує досвід експлуатації, зубчасті передачі в більшості випадків виходять з ладу не внаслідок поломки зубів (що буває рідко), а внаслідок руйнування (викришування) їх робочих контактних поверхонь. Тому зуби передач всіх типів розраховують спочатку на міцність контактної поверхні по найбільшим (поверхневим) напруженням, а потім вже на міцність по небезпечному перерізу, тобто по основі зуба.

Розрахунковим навантаженням є максимальний крутний момент, що передається зубчастим зачепленням, і визначається з урахуванням (коефіцієнт K)

якості виготовлення зачеплення концентрації напружень і характеру (динамічності, повторюваності) навантаження [18]:

$$M_{\text{розр}} = M_{\text{зач}} K, \quad (2.17)$$

де $M_{\text{зач}}$ – максимальний момент, що передається зубчастим зачепленням.

Розрахунковий коефіцієнт визначається наступним чином:

$$K = K_1 K_2 K_3,$$

де K_1 – Коефіцієнт шестерні (колеса);

$$\text{при: } \frac{b}{d_0} = \frac{1070}{504} = 2,1, \quad K_1 = 1,55.$$

K_2 – Коефіцієнт концентрації, рівний [19]:

$$K_2 = 1 + 0,1i = 1 + 0,1 = 1,1.$$

K_3 – Коефіцієнт якості; для другого класу точності виготовлення

$$K_3 = 1,2.$$

Таким чином, для шестеренних клітей з передатним числом $i = 1$, виготовлених за 2–м класом точності та при $\frac{b}{d_0} = 2$ розрахунковому коефіцієнті.

$$K = 1,55 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 2.$$

Перевірочне визначення контактної напруги в поверхневому шарі зубів шестерні (при куті евольвента $\alpha = 20^\circ$, кут нахилу зубів $\beta = 30^\circ$ і перекриття $\varepsilon \approx 1,35$ виконують за формулою [20]:

$$\sigma_k = \frac{240}{A} \sqrt{\frac{M_{\text{розр}}}{b} \frac{(i+1)^3}{i}}, \text{Н/мм}^2, \quad (2.18)$$

де A – міжосьова відстань шестеренної кліти, при $i=1$, $A = d_0$.

$$\sigma_k = \frac{240}{504} \sqrt{\frac{2 \cdot 41 \cdot 10^6}{1070} \frac{(1+1)^3}{1}} = 372,86 \text{Н/мм}^2.$$

Напруження вигину біля основи зубів Z і нормальним модулем m_n [20].

$$\sigma_u = \frac{M_{\text{расч}} \psi}{y m_n^2 Z b}, \text{Н/мм}^2, \quad (2.19)$$

де ψ – коефіцієнт концентрації напруження біля основи зубів;

при нарізці шестірні довбаком $\psi = 1,5$; черв'ячною фрезою $\psi = 1,5$;

пальцевою чи дисковою фрезою $\psi = 1,8$.

y – коефіцієнт форми зубів шестерні, визначається залежно від так

званого наведеного числа зубів:

$$Z_{\text{прив}} = \frac{Z}{\cos^3 \beta} = \frac{Z}{0,649} = 1,54Z = 1,54 \cdot 28 = 43,12.$$

Для $Z = 18 \div 29$ можна прийняти $y = 0,35 \div 0,42$.

Приймаємо $y = 0,4$.

Тоді:

$$\sigma_u = \frac{8200 \cdot 1,6}{0,4 \cdot 18^2 \cdot 28 \cdot 1070} = 0,0337 \text{Н/мм}^2.$$

Допустиме напруження для матеріалів зубчастих шестерень і коліс твердістю $HV = 200 \div 350$ [21]:

а) у поверхневому шарі зубів:

$$[\sigma_k] = 0,6(\sigma_b + \sigma_s) + 30 \approx 2\sigma_s, \text{Н/мм}^2, \quad (2.20)$$

б) на вигин у небезпечному перерізі у ніжки зуба:

$$[\sigma]_u = 0,15(\sigma_b + \sigma_s) + 25 \approx 0,45\sigma_s, \text{Н/мм}^2, \quad (2.21)$$

Для сталей 45, 40ХН, 60Х2МФ, з яких виготовляють шестірні, $\sigma_g = 750 \text{Н/мм}^2$ і $\sigma_s = 450 \text{Н/мм}^2$, допустимі напру;туз для них $[\sigma_k]$ і $[\sigma]_u$ будуть:

$$[\sigma_k] = 2 \cdot 450 = 900 \text{Н/мм}^2;$$

$$[\sigma]_u = 0,45 \cdot 450 = 200 \text{Н/мм}^2.$$

Тоді:

$$\sigma_k = 372,86 < 900 \text{Н/мм}^2;$$

$$\sigma_u = 0,0338 < 200 \text{Н/мм}^2.$$

Таким чином, контактне напруження в поверхневому шарі зубів шестерень і напруження вигину в основі зубів не перевищують свої допустимі значення:

Шестерні шестеренної кліті передають великі крутні моменти; їх виготовляють як одне ціле з шийками для вальниць і часто називають шестеренними валками. Розміри шийок шестеренних валків визначають розрахунком їх на міцність; у разі, коли застосовують роликові конічні вальниці для шестеренних валків, розміри шийки необхідно узгодити також із внутрішнім

діаметром цих вальниць. На кінці шестеренних валків насаджують головки шарнірів шпинделів або лопаті для з'єднання зі шпинделями.

Розглянемо зусилля, що діють на зуби шевронної шестерні. (При розрахунку шийки валка на міцність коефіцієнт концентрації та k напружень у зубцях не враховуємо). Кут у торцевому перерізі шестерні:

$$\operatorname{tg}\alpha_T = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\beta} = \frac{\operatorname{tg}20^\circ}{\cos30^\circ} = \frac{0,36397}{0,866} \approx 0,421, \quad (2.22)$$

$$\alpha_T = \operatorname{arctg}0,421 = 23^\circ. \quad (2.23)$$

Знаючи величину кута в торцевому перерізі α_T , визначимо зусилля, що діє у зубах у цьому перерізі. З рисунка 2.2 знаходимо:

$$P_T = \frac{x_T}{\cos\alpha_T}, \quad (2.24)$$

де x_T – максимальне окружне зусилля у зачепленні шестерень.

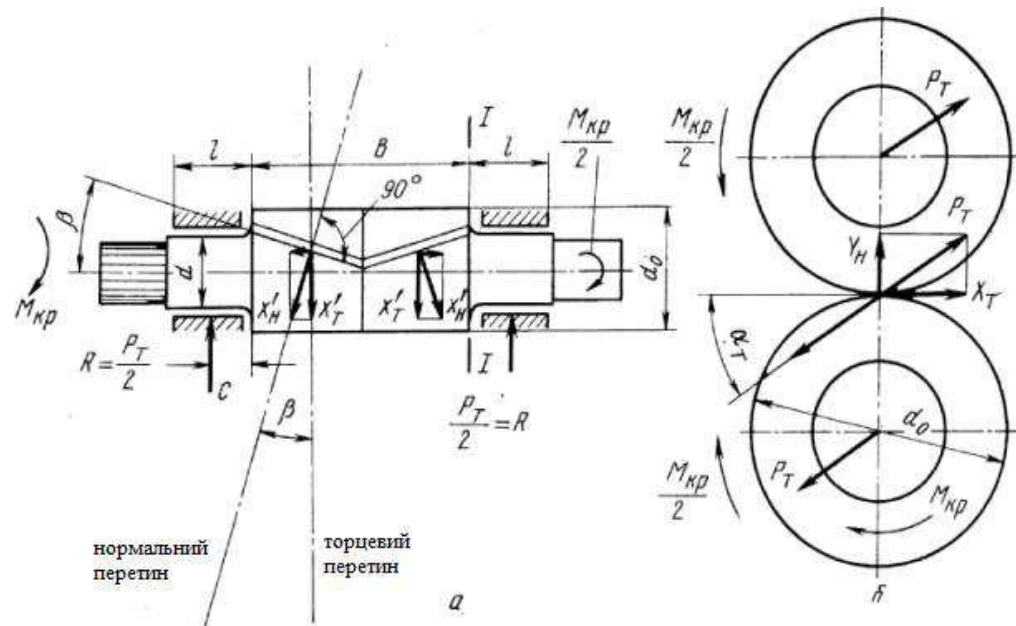
Значення x_T можна визначити з крутного моменту, що передається зачепленням:

$$x_T = \frac{M_{\text{зчп}}}{d_0/2} = \frac{2M_{\text{зчп}}}{d_0} = \frac{2 \cdot 41}{0,504} = 162,7 \text{ кН}, \quad (2.25)$$

де d_0 – діаметр початкового кола шестірни.

При $\alpha_T = 23^\circ$, $\cos\alpha_T = 0,92$ тому остання формула має вигляд:

$$P_T = 2,17 \frac{M_{\text{зач}}}{d_0} = 2,17 \frac{41}{0,504} = 176,85 \text{кН}, \quad (2.26)$$



а – сили, що діють в шевронному зачепленні;

б – напрям сил у торцевому перерізі.

Рисунок 2.2 – До розрахунку шестеренного валка

Це зусилля, спрямоване під кутом $\alpha_T = 230$ до горизонталі, згинає шийки шестеренного валка і сприймається підшипниками.

На кожну шию діє зусилля, що дорівнює:

$$R = \frac{P_T}{2} = \frac{176,85}{2} = 88,42 \text{кН}, \quad (2.26)$$

Максимальне напруження вигину в перерізі 1 – 1 між шийкою та шестернею дорівнює [22]:

$$\sigma = \frac{M_u}{0,1d^3}, \quad (2.27)$$

Згинальний момент у цьому перерізі дорівнюватиме добутку сили R , що

діє на шийку на відстані від осі шийки до небезпечного перерізу 1 – 1. Цю відстань можна прийняти рівним половині довжини шийки шестеренного валка, тобто. $l/2$ тоді:

$$M_u = Rc \approx R \frac{l}{2}. \quad (2.28)$$

Підставляючи значення P_T у формули для R , отримаємо формулу для визначення напруження вигину в небезпечному перерізі шийки:

$$\sigma = 5,43 \frac{M_{зач} l}{d_0 d^3} = 5,43 \frac{41000 \cdot 144 \cdot 10^{-3}}{0,504 \cdot 0,23^3} = 3,619 \text{МПа}, \quad (2.29)$$

де l і d – довжина і діаметр шийки шестеренного валка $d = 260$ мм, $l = 144$ мм.

Крім напруження вигину, в шийках шестеренних валків виникають також напруження кручення. Максимальне напруження крутіння буде в шийці шестерні з боку редуктора і воно визначиться за формулою:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{0,2d^3}, \quad (2.30)$$

де $M_{кр} = 2M_{зач}$ – максимальний момент, що крутить, переданий шийкою двом шестерням від провідного валу редуктора.

$$\tau = \frac{2M_{зач}}{0,2d^3} = \frac{M_{зач}}{0,1d^3} = \frac{41000}{0,1 \cdot 0,26^3} = 23,327 \text{МПа}.$$

Результуюче напруження в цій шийці від дії згинального і крутного моменту дорівнюватиме:

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{3,619^2 + 3 \cdot 23,327^2} = 40,565 \text{ МПа} . \quad (2.31)$$

Хоча напруження в інших шийках менше, ніж у шийці валка з боку редуктора, проте з умови однотипності застосовуваних вальниць розміри шийок обох валків роблять однаковими.

Допустиме напруження для шийок при виготовленні шестеренних валків з кованої сталі 40 або 40Х можна приймати рівним $[\sigma] \approx 130 \div 150 \text{ Н/мм}^2$:

$$\sigma_{\text{рез}} = 40,569 < 130 \text{ МПа} .$$

Таким чином, результуюча напруження не перевищує допустимих напружень в шийці валка:

Шийка приводної шестерні кліті (рисунок 2.4) отримує з боку двигуна крутний момент, рівний $M_{\text{кр}}$ і передає його через зубчасте зачеплення редуктора двом шестерням, а останнє – двом робочим прокатним валкам через шпindelне пристрій.

Отже, на шестеренну кліть діють такі моменти:

$M_{\text{кр}}$ – з боку двигуна; цей момент прикладено до первинного валу редуктора і має то позитивне, то негативне значення (залежно від напрямку прокатки).

M_1 і M_2 – реактивні моменти, що крутять, з боку валків; один із них позитивний, а інший – негативний.

Перекидний момент, що діє на кліть, дорівнює сумі алгебри цих моментів [24]:

$$M_{\text{пер}} = M_{\text{кр}} + M_1 - M_2 \dots \quad (2.32)$$

Якщо момент, що отримується шестеренними валками з боку редуктора, розподіляється порівну між верхньою і нижньою шестернями (тобто між

робочими прокатними валками), як це відбувається при простому процесі прокатки, тоді [25]:

$$M_1 = M_2, M_{\text{пер}} = M_{\text{кр}}.$$

Значить, при простому процесі прокатки момент, що перекидає шестерну кліть, дорівнює моменту двигуна.

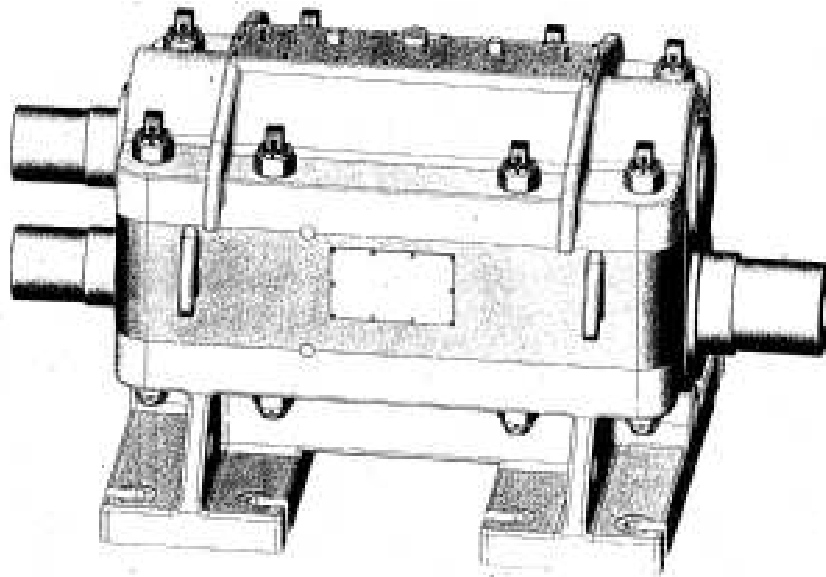


Рисунок 2.3 – Шестеренна кліть 500

Розглянемо два окремі випадки:

1) Припустимо, що верхній шпindel зламався, але якийсь час прокатка ще триває; тоді $M_1 = 0$ і весь момент приводу передається лише одному нижньому валку.

В цьому випадку: $M_{\text{пер}} = M_{\text{кр}} - M_2$.

2) У разі поломки нижнього шпинделя ($M_2 = 0$) перекидний момент, що діє на шестеренну кліть, дорівнює:

$$M_{\text{пер}} = M_{\text{кр}} + M_1.$$

Таким чином, в аварійних випадках перекидальний момент шестеренної кліті більше моменту, що перекидає робочу кліть. Момент, що перекидає шестерену кліть, прагне відірвати шестеренну кліть від фундаменту або плит, тобто розтягує фундаментні болти. Позначимо кількість фундаментальних болтів з одного боку шестеренної кліті через n і діаметр болта – через d .

Розрахуємо максимальний перекидальний момент:

$$M_{\text{опр}} = M_{\text{кр}} + M_1 = 26,35 + 82 = 108,35 \text{кНм}.$$

Зусилля, що діє на один фундаментний болт, дорівнює:

$$Q = \frac{1}{n} \left(\frac{M_{\text{пер}}}{b} - \frac{G}{2} \right) = \frac{1}{5} \left(\frac{108,35}{1,48} - \frac{525}{2} \right) = -37,86 \text{кг}, \quad (2.33)$$

де $b = 1480 \text{мм}$ – відстань між болтами;

$G = 52500 \text{кг}$ – вага шестерної кліті.

Знак мінус свідчить про те, що зусилля болта спрямовано протилежний бік, тобто. перекидальний момент шестеренної кліті навіть у разі поломки нижнього шпинделя повністю зрівноважується відновлюючим моментом від ваги шестеренної кліті

2.3 Розрахунок зубчастих муфт запропонованої конструкції шпинделя

Максимальний розрахунковий момент, що крутить, переданий одним шпинделем, визначимо половиною моменту прокатки (максимального):

$$M_{\text{кр. max}} = \frac{M_{\text{пр. max}}}{2} = \frac{102,68}{2} = 51,34 \text{кНм}. \quad (2.34)$$

За довідником вибираємо зубчасту муфту типу МЗП №17 з такими розмірами $d = 2$; $D = 490$; $L = 370$; $b = 40$; $Z = 64$; $m = 12$ мм.

Для визначення величини тиску між зубами втулки та обойми припустимо, що навантаження розподіляється рівномірно між усіма зубами, а контакт зубів відбувається по всій довжині b та робочій висоті $h = 1m + 0,8m$, яка складається з висот головок втулки та зуба обойми. Тоді зв'язок між розрахунковим моментом та величиною тиску виразиться формулою:

$$M_p = \frac{PF_z D_0}{2}, \quad (2.35)$$

де P – тиск на поверхні зубів;

$F = b_h$ – проекція робочої поверхні зуба на діаметральну площину;

Z – Число зубів втулки;

$D_0 = m_z$ – діаметр ділового кола;

m – модуль зачеплення.

Після перетворення отримаємо умову зносостійкості:

$$P = \frac{M_p}{0,9bD_0^2} = \frac{51,34 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 40(6 \cdot 56)^2} = 12,63 \leq [p], \quad (2.36)$$

де допустимий питомий тиск для забезпечення необхідної зносостійкості вибирають з урахуванням неточності розрахунку за даними експерименту $[p] = 12 \div 15$ Н/мм².

Приймаємо $[p] = 14$ Н/мм².

$12,63 < 14$ Н/мм².

Таким чином умова міцності виконується.

3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз впливу динамічних процесів на роботу приводу чистових клітей прокатного стану 1680

Початок досліджень динамічних процесів в обладнанні прокатних клітей поклав наш співвітчизник член кореспондент АН України С. М. Кожевніков в середині минулого сторіччя. Його фундаментальна монографія «Динаміка машин з пружними ланками» стала відправною точкою подальшого розвитку нового наукового напрямку – динаміки важких машин металургійного виробництва, зокрема прокатних станів. Особлива увага дослідженню динамічних процесів в обладнанні головних ліній клітей прокатних станів в найбільш важкому режимі роботи – захват заготовки валками.

Послідовники С. М. Кожевнікова і його школи продовжують роботи над встановленням впливу динамічних процесів шляхом моніторингу та діагностування працездатних станів обладнання [26-30].

Одним з напрямів досліджень є дослідження коливань приводу. Застосування цієї теорії до дослідження приводів металургійних машин дозволяє знайти власні частоти, а потім і моменти, які передають валки. Теоретичні розробки суттєво уточнюють причини багатьох перевантажень та поломок в головних лініях прокатних станів, які в теперішній час підлягають модернізації, як складу обладнання, так і по технологічним режимам.

Установлені основні причини формування суттєвих динамічних навантажень в обладнанні, визначена роль кутових зазорів в протіканні перехідних процесів [31-32] виявленні специфічні закономірності формування моменту сил технологічного опору на валках в період заповнення осередку деформації тонкої штаби і його впливу на пікові навантаження, встановлені особливості динамічної взаємодії лінії головного приводу і пружної системи кліті в перехідному режимі та взаємодія суміжних клітей через тонку і товсту

штаби в перехідних режимах при безперервній прокатці, встановлена роль конструктивних параметрів в формуванні динамічних навантажень, показана необхідність обліку динамічних навантажень при розрахунках на міцність [33].

Одна з основних завдань при проведенні досліджень було в визначенні причин значних динамічних навантажень, які в багатьох випадках в 2–3 рази і більше перевищували статичне навантаження. Без вирішення чого завдання неможлива розробка заходів по їх зменшенню.

Численними дослідженнями встановлено, що динаміка перехідного процесу в кліті і лінії головного приводу в період захоплення штаби валками значно залежить від зносу зчленованих деталей, який породжує згідно з даних вимірів в одній і тій же кліті при мінімальних зазорах перевантаження по моменту пружності при захваті штаби складає 1,8–2,5 в той час, як при збільшених зазорах вона досягає 4,5–5. Подібне посилення ударного діяння на обладнання через зазори негативно впливає на його роботу і термін його служби [34].

Слід відмітити, що промислові дослідження динамічних процесів проводилися на безперервному стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь», результати яких відображені в наукових роботах.

В наслідок дослідження накопичена велика база фактичних даних по відродинамічним процесам в обладнанні клітей різних типів прокатних станів попри різних становищах обладнання та технологічних режимах прокатки.

Для характеристики динамічного навантаження часто вводять коефіцієнт динамічності K_d , який визначається як відношення максимального моменту сил пружності до сталого його значення:

$$K_d = \frac{M_{\max}}{M_{ст}}, \quad (3.1)$$

Суттєвий рівень динамічних напружень, характерний для всіх широкоштабових станів, є однією з причин втомних поломок механічного обладнання.

На ПАТ «Запоріжсталь» в відповідності з комплексним планом по підвищенню ефективності прокатного виробництва, розробленим на рівні наукових досліджень в цій області і практичних рекомендацій інститута чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України і НПО «Донікс» реалізований ряд основних заходів. В наслідок цього значно покращенні економічні показники виробництва і якість листового проката.

Разом з тим високий рівень ударних навантажень в обладнанні клітей під час захвату прокату валками не зменшився, а в більшості випадків збільшився. Тому суттєвий резерв підняття надійності і стабільності роботи широкоштабового стана 1680 полягає в зменшенні динамічних навантажень та обслуговуванні обладнання на основі знань про його фактичне становище (зокрема, зносу і зазорів в з'єднаннях).

Кожній кліті широкополосного стана притаманні свої конструктивні особливості і технічні параметри при змінювальному стані – зносу і зазорах. Індивідуальними особливостями володіють також динамічні характеристики клітей і їх головних ліній. В зв'язку з цим потрібні цілеспрямовані дії по знайденню методів і способів зменшення динамічних навантажень.

Динамічні навантаження залежать від трьох груп параметрів – технологічних, конструктивних і технічного стану (знос і зазори). Зменшити їх можна шляхом діяння на кожену групу окремо або шляхом їх комбінації, якщо відомо вклад кожної групи динамічної складової.

Для клітей стана 1680 шляхом моделювання зведені діаграми частотного вклада кожної групи в коефіцієнт динамічності на шпindelній і моторній ділянці розроблені Вереньовим В.В.

Спочатку установили залежність K_M від конструктивного узагальненого параметра:

- відношення двох найнижчих власних частот, потім від технологічного параметра – функції напруження зовнішнім моментом, в залежності від швидкості захвата або параметрів фігурного краю, в обох випадках враховували вплив зазорів, які відносяться до параметрів стану

головної лінії. На основі аналізу їх дольового вклада в динамічну складову виявили пріоритетність вибору шляхом його зменшення. На основі даних діаграми доцільно спочатку розглянути можливість формування фігурного краю, потім оптимізації конструктивних параметрів, а далі вести пошук шляхів зменшення впливу зазорів.

Результати розрахунків та їх аналіз показав, що шляхом збільшення податливості моторної і шпindelної ділянки приводу досягається деяке зменшення динамічних напружень в клітках стана 1680. Для цього потрібні більш конструктивні зміни елементів приводу, що пов'язано з певними витратами.

Більш ефективним є заміна шпindelів з бронзовими вкладишами на карданні шпindelі, в яких зазори в з'єднаннях практично відсутні. Мінімальними зазорами володіють роликові шпindelі розробки НКМЗ, на теперішній час для приводу чистових клітей в літейно – прокатних модулях і сучасних тонколистових станах використовують зубчасті шпindelі з бочкоподібним зубом або бочкоподібним роликом, які не мають недоліків, притаманних універсальним шпindelям, а міжремонтний цикл шпинделя більше 2-х років.

Успішним виявився досвід застосування і удосконалення шпindelів з автоматичним вибором зазорів клиновидними роз'ємними вкладишами, змащення тертих поверхонь одного шарніра і вальниць урівноваження шпинделя здійснюється від системи типу «масло – повітря». З'єднання довело свою надійність.

Недоліком конструкції можна вважати її відносну складність (особливо опорного вузла), підвищенні вимоги до точності виготовлення і зборки слід відмітити і недостатню площу опорних поверхонь.

По мірі переведення клітей на нові шпindelі йшло постійне доведення конструкції шляхом підвищення надійності опорного вузла заміни кульових однорядних підшипників роликовими конічними, покращення підводу змащення. Витрати шпindelів скорочена в декілька разів.

Удосконалення цієї конструкції шпинделів продовжується, проводиться випробування варіанта зі змащенням підшипників опори урівноваження і двох шарнірів від системи «масло – повітря». Припускається можливість покращення конструкції цих шпинделів шляхом збільшення опорної поверхні, удосконалення підвода змащення до третювих поверхонь, використання нових матеріалів.

Захват штаби валками супроводжується суттєвим ударним навантаженням, що діє на стойку кліті і подушки валків. Це негативно впливає на термін служби деталей подушок валків і вальниць, веде до пришвидченого зносу накладних планок. Більш простим рішенням для стану 1680 є установка в проміжку між подушками валків і стойками станини біметалевих планок, які складаються із м'якого та твердого шара. Планки сприяють демпфуванню удару.

Другим важливим напрямком в підвищенні ефективності надійності роботи прокатних станів є упровадження методів і систем діагностування технічного стану обладнання.

Приклади успішного використання таких систем показують, що їх упровадження дозволяє не тільки своєчасно виявити початок розвитку дефекту або зносу, але й здійснити перехід від затратної системи планово – попереджальних ремонтів і обслуговування обладнання «по фактичному становищу» на основі інформації про його фактичне становище [35-37].

Використання систем моніторингу навантажень і діагностики технічного стану вузлів обладнання, прогнозування термінів відмов і ремонту в кінцевому результаті стає базою для управління технічним становищем прокатних станів. Це дозволяє суттєво зменшити затрати на ремонт і обслуговування обладнання, збитки виробництва від раптових відмов. В теперішній час на всіх металургійних підприємствах створенні підрозділи по діагностиці обладнання.

Працездатність чистових клітей стану 1680 в значній мірі залежить від того, наскільки ефективно працює обладнання приводу. Наведений вище аналіз показав, що існуючий рівень динамічних навантажень, характерний для всіх

широкополосних станів, є однією з причин стомлених поломок елементів обладнання.

Науково-промислові дослідження динамічних процесів на безперервному стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь» визначили, що динамічні навантаження залежать від трьох груп параметрів – технологічних, конструктивних і технічного стану (знос і зазори). Зменшити їх можна шляхом впливу на кожен групу окремо або шляхом їх комбінації, якщо відомо вклад кожної групи динамічної складової.

Досвід досліджень показує, що зазор на шпindelній ділянці $\delta_{ш}$ привода клітей має значний вплив на динаміку і коефіцієнт динамічності на всю лінію привода кліті, чим більший зазор в шпindelному з'єднанні $\delta_{ш}$, тим більший коефіцієнт динамічності. Відомо, що основним елементом, створюючим зазори на шпindelній ділянці привода, є зношеність бронзових вкладишів. Дослідженню цих впливів і присвячено експериментальну частину

3.2 Експериментальне дослідження крутних моментів при прокатці штаби

На універсальних шпindelях лабораторного стану (рисунок 3.1) встановлені: на верхньому шпindelі текстолітові вкладиші, на нижньому – бронзові (рисунок 3.2).

Текстолітові вкладиші виготовляються з текстоліту марки ПТ, призначеного для вкладишів підшипників прокатних станів.

Фізико – механічні показники:

- руйнівне напруження, МПа,
не менше, при стисненні перпендикулярно верствам – 200
- твердість, МПа, не менше – 280
- теплостійкість по Мартенсу, $^{\circ}\text{C}$ не менше – 130

Бронзові вкладиші виготовляються з вилівка марки БрАЖ 9–4, застосовуваної для антифрикційних деталей – вкладишів підшипників.

Механічні показники:

- Межа плинності, Бв, МПа, – 400
- Твердість, НВ, – 100 ... 120



Рисунок 3.1 – Лабораторний прокатний стан з пультом керування



а

б

Рисунок 3.2 – Вкладиші універсального шпинделя лабораторного прокатного стану: а – текстолітові, б – бронзові

Шарнір універсального шпинделя на вальницях ковзання утворюється лопаттю (як з боку робочих валків, так і з боку приводу); головкою шпинделя, що має спеціальну циліндричну розточку під вкладиші; бронзовими сегментними вкладишами і сухарем, що дозволяє фіксувати бронзові вкладиші щодо лопаті.

З боку робочої кліті шарнір зроблений «плаваючим» в осьовому напрямку. Така конструкція необхідна для компенсації кутів нахилу шпинделя, які постійно змінюються при зміні відстані між робочими валками, а також це полегшує роботу при частій зміні валків. Особливості конструкції «плаваючого» шарніра в тому, що в лопаті передбачається проріз для переміщення сухаря. Шарнір з боку приводу виконаний фіксованим. У лопаті передбачено отвір для сухаря.

Монтаж вкладишів виробляється в зібраному вигляді з сухарем в циліндричну розточку головки шпинделя.

При вимірі крутних моментів датчики наклеюють безпосередньо на універсальні шпинделі під кутом 45° до осі вала. Для підведення живлення до датчиків і зняття сигналу використовують струмознімний пристрій, який складається з струмознімних кілець з канавками під струм в кількості 4 шт. (рисунок 3.3).

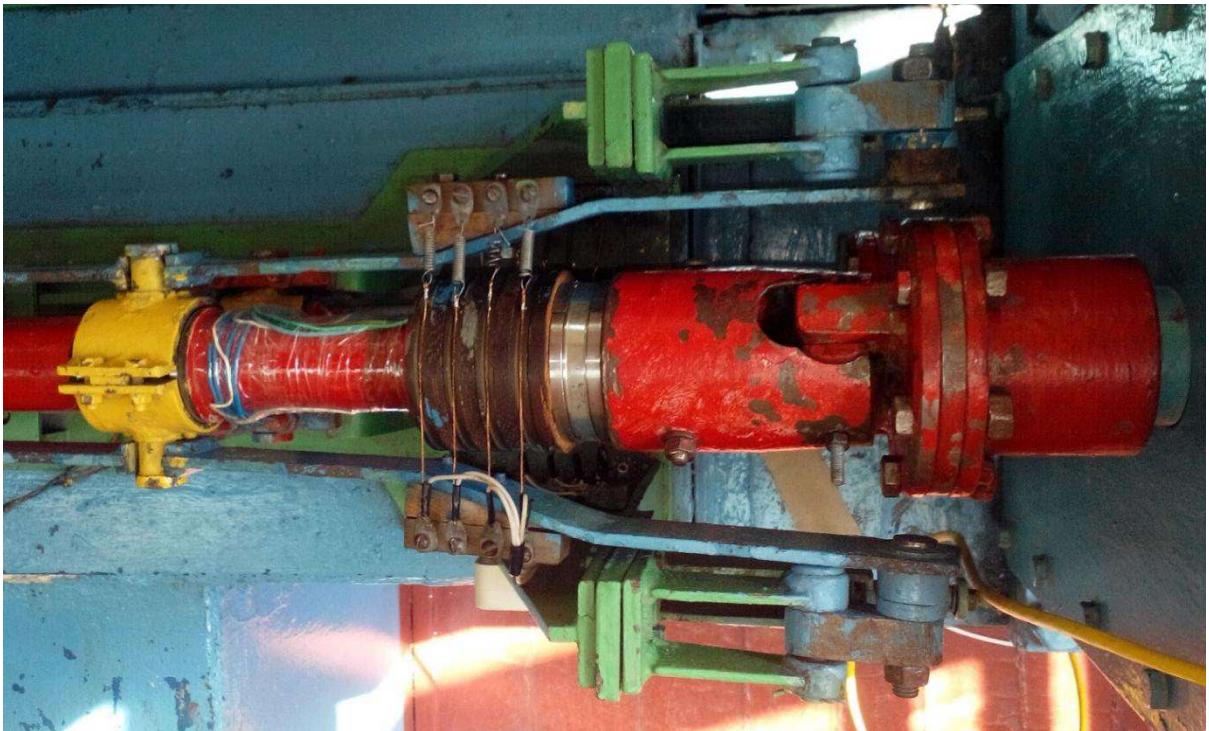


Рисунок 3.3 – Підключення тензодатчиків

Процес прокатки свинцевої заготовки виконували за чотири проходи

(рисунок 3.4), імітуючи роботу прокатного стану «Тандем», дані оброблювалися спеціалізованим програмним забезпеченням WinПОС, ліцензійна версія якого є на випусковій кафедрі.

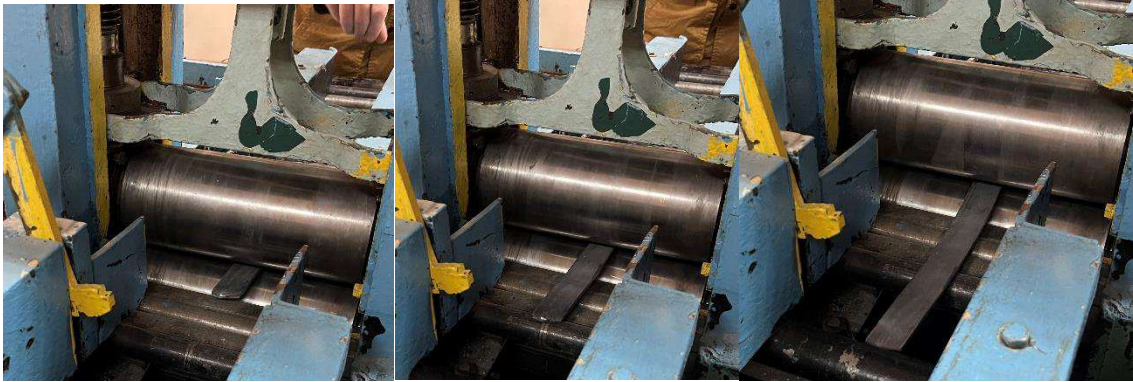


Рисунок 3.4 – Прокатка свинцевої заготовки на лабораторному стані

В результаті проведення експерименту отримані осцилограми моментів на верхньому і нижньому шпинделях при наступних операціях: холостого ходу стану та прокатки зразка по кожному проходу (рисунок 3.5-3.10).

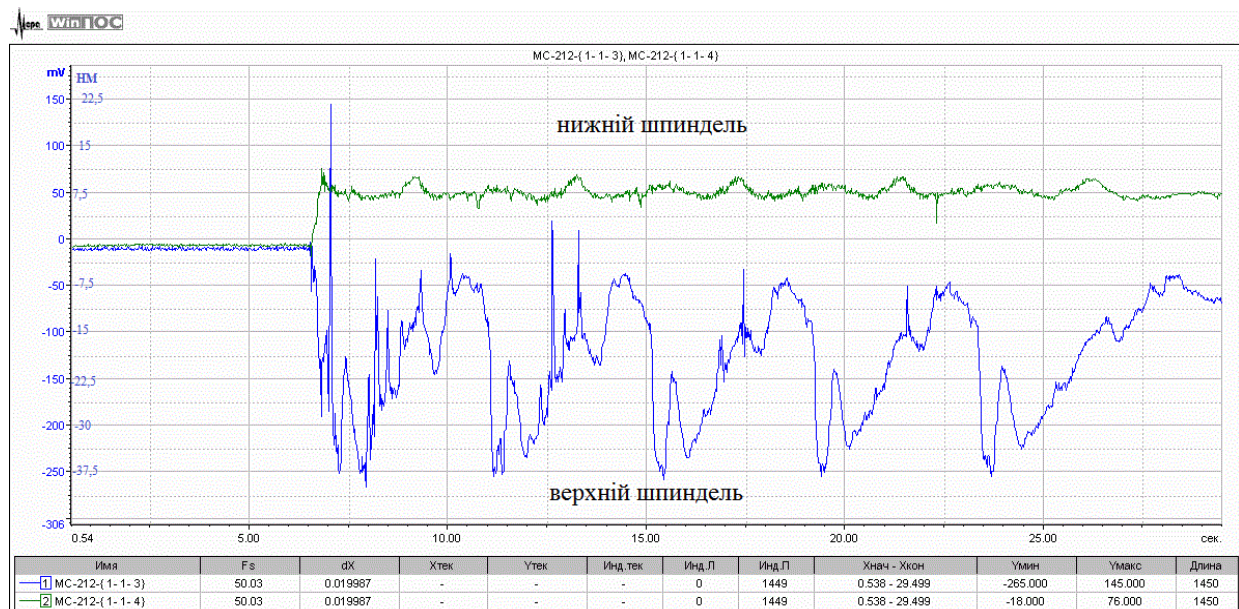


Рисунок 3.5 – Осцилограма моментів на шпинделях при холостому ході стану

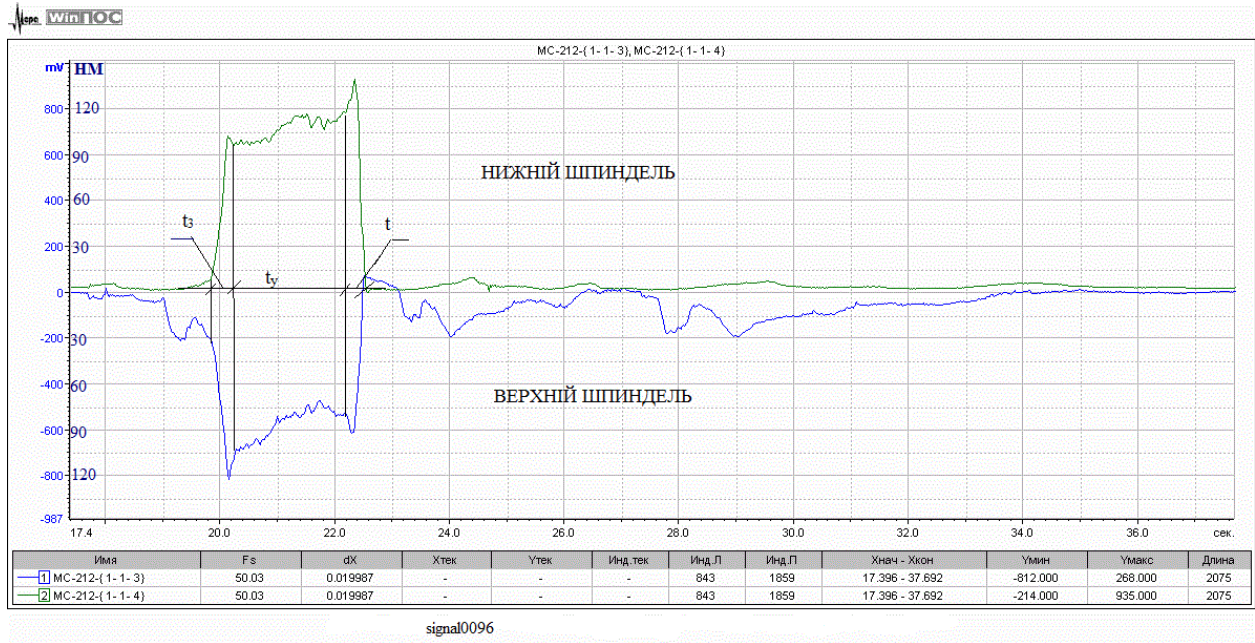


Рисунок 3.6 – Осцилограмма моментов на шпинделях при 1-му прокатному проходе

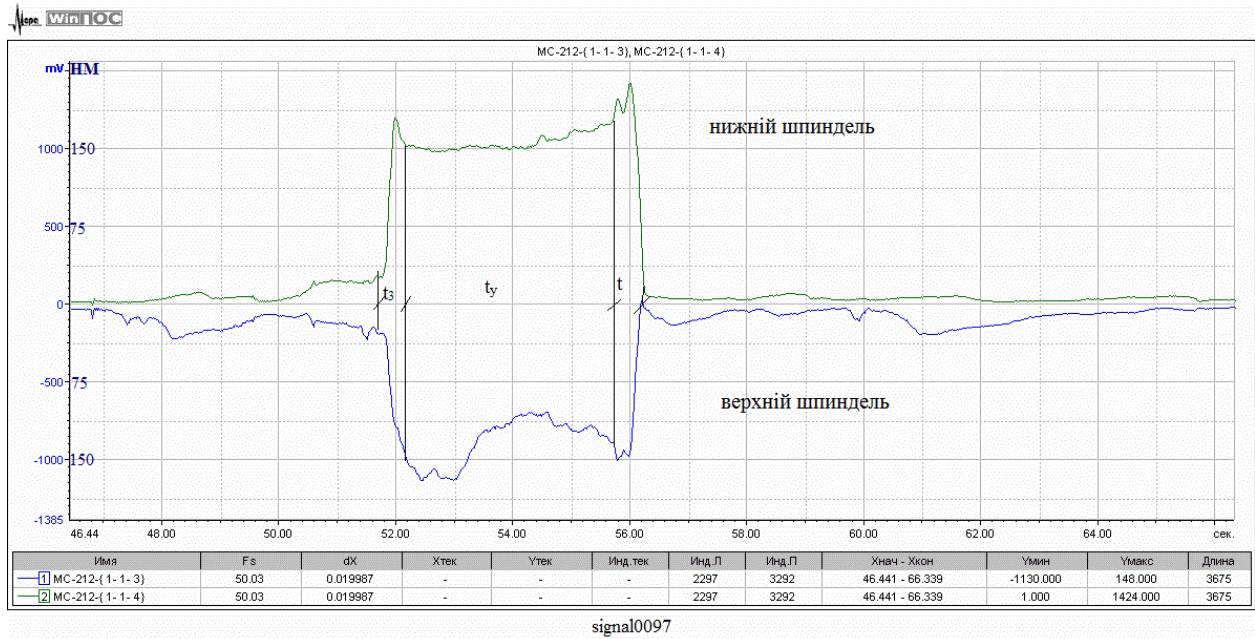


Рисунок 3.6 – Осцилограмма моментов на шпинделях при 2-му прокатному проходе

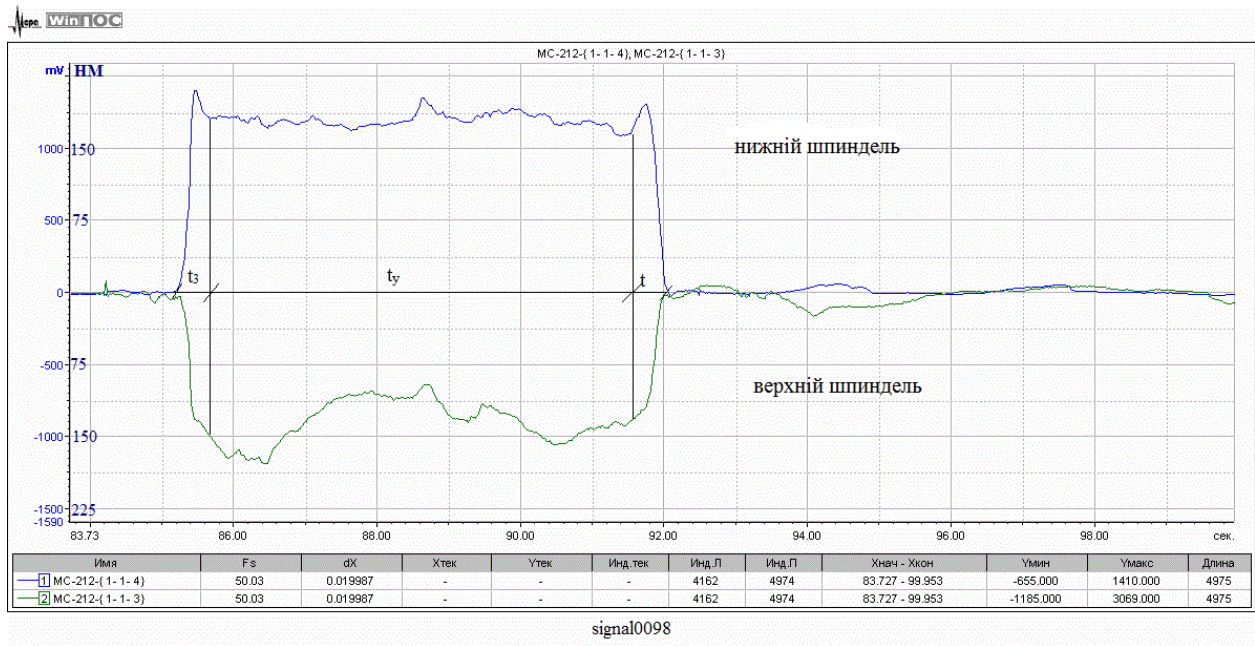


Рисунок 3.6 – Осцилограмма моментів на шпинделях при 3-му прокатному проході

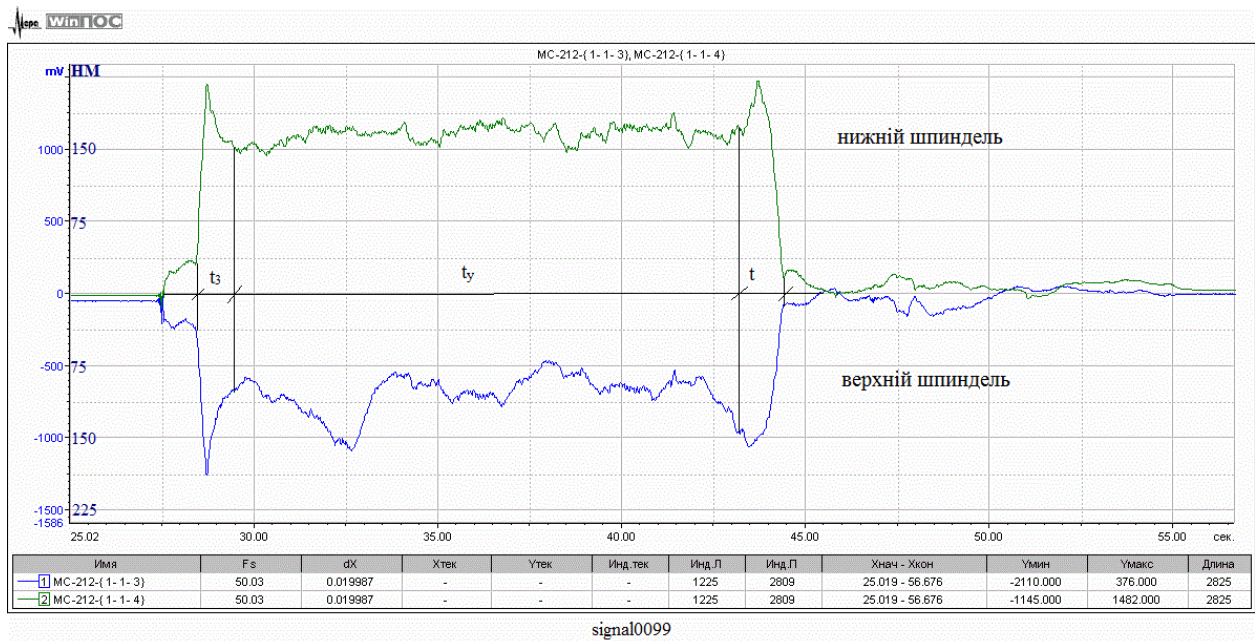


Рисунок 3.6 – Осцилограмма моментів на шпинделях при 4-му прокатному проході

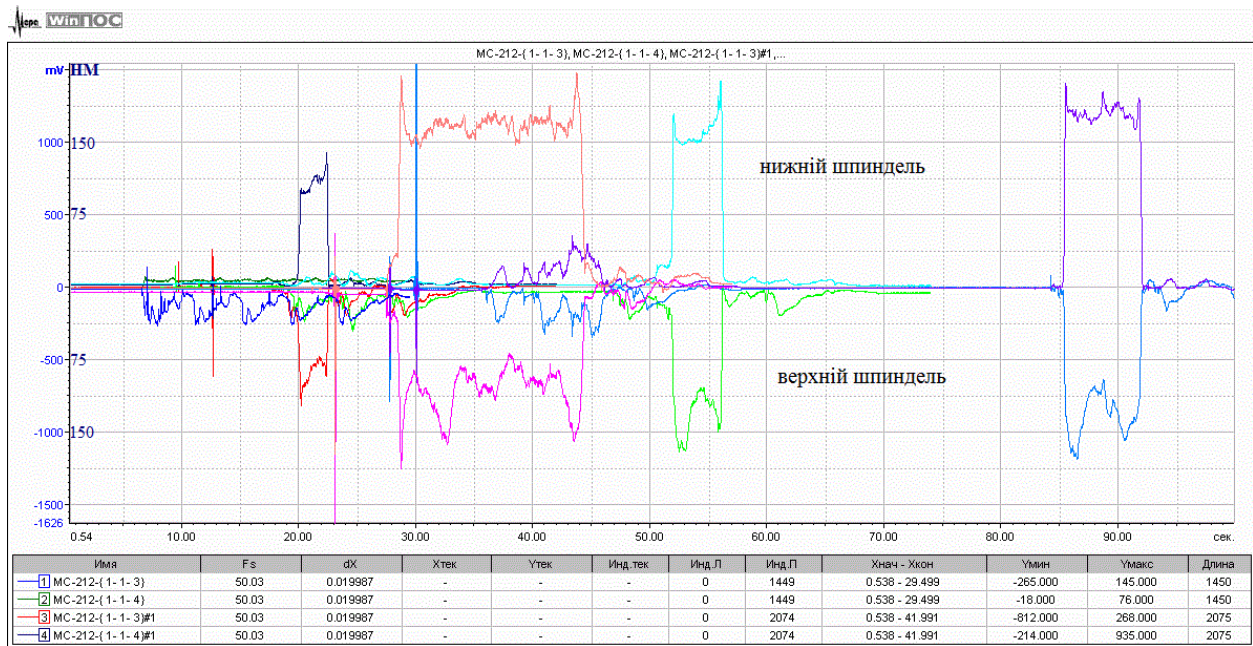


Рисунок 3.7 – Осцилограма сумарних моментів прокатки

Визначаючі величини:

- t_3 – час захвата штаби, с
- t_y – час сталого процесу прокатки, с
- t_b – час виходу штаби, с
- M_{z_1}, M_{z_2} – моменти крутячі на верхньому та нижньому шпинделях при захваті штаби, НМ
- M_{y_1}, M_{y_2} – крутні моменти на верхньому та нижньому шпинделях при сталій прокатці штаби, НМ
- M_{b_1}, M_{b_2} – крутні моменти на верхньому та нижньому шпинделях при виході штаби із валків, НМ
- M_{e_1}, M_{e_2} – розрахункові еквівалентні моменти для верхнього і нижнього шпинделів, НМ
- M_{xx_1} і M_{xx_2} – моменти холостого ходу на верхньому і нижньому шпинделях

Після замірів основних параметрів крутячих моментів на універсальних шпинделях моделі стана виконана побічна тарировка моментів.

Розрахунковий масштаб крутних моментів склав:

$$m_M = 0,15 \frac{H_M}{M_V};$$

Результати експериментальних досліджень заносимо до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Експериментальні величини моментів прокатки

Найменування проходів	M_{xx_1} НМ	M_{xx_2} НМ	M_{z_1} НМ	M_{z_2} НМ	M_{y_1} НМ	M_{y_2} НМ	M_{ε_1} НМ	M_{ε_2} НМ	M_{β_1} НМ	M_{β_2} НМ	t_3 с	t_y с	t_b с
Холостий хід	7,5... 37,5	7,5											
1-й прохід			120	105	90	98	95	104	96	133	0,3	1,9	0,3
2-й прохід			168	175	125	150	133	160	150	210	0,45	3,5	0,45
3-й прохід			180	210	123	170	128	174	136	191	0,4	6	0,4
4-й прохід			188	218	120	164	128	172	160	218	0,9	14	1,1

Розрахунок еквівалентних експериментальних моментів для верхнього (M_{e1}) і нижнього (M_{e2}) шпинделів за формулами:

$$M_{e1} = \sqrt{\frac{M_{z1}^2 t_3 + M_{y1}^2 t_y + M_{\beta 1}^2 t_b}{t_3 + t_y + t_b}}; \quad (3.2)$$

$$M_{e2} = \sqrt{\frac{M_{32}^2 t_3 + M_{y2}^2 t_y + M_{B2}^2 t_B}{t_3 + t_y + t_B}}; \quad (3.3)$$

Момент тертя в опорах верхнього валка для кожного проходу по формулі:

$$M_{тр1} = P \cdot f_1 \cdot \frac{d}{2}, \quad (3.4)$$

де P – навантаження на вальниці, що дорівнює тиску прокочуємого металу на валки, Н

d – діаметр шийки валка, $d = 0,06$ м

f_1 – коефіцієнт тертя у вальницях верхнього валка (для текстолітових вкладишів $f_1 = 0,06$)

Момент тертя в опорах нижнього валка для кожного проходу по формулі:

$$M_{тр2} = P \cdot f_2 \cdot \frac{d}{2}, \quad (3.5)$$

де f_2 – коефіцієнт тертя у вальницях нижнього валка (для бронзових вкладишів $f_2 = 0,11$)

Результати отримані за формулами (3.2)–(3.5) заносимо в таблиці 3.2 та 3.3

В таблицях:

– $M_{пр1}$ – теоретичний момент деформації металу прикладений до валка:

$$M_{пр1} = M_{пр2} = \frac{M_{пр}}{2}, \text{ НМ} \quad (3.6)$$

– $M_{тпр1}$ – загальний теоретичний момент прокатки;

$$M_{тпр1} = M_{пр1} + M_{тр1}, \text{ НМ} \quad (3.7)$$

– $\eta_{ш}$ – ккд універсального шпинделя (приймаємо $\eta_{ш}=0,97$)

– $M_{тпр2}$ – загальний теоретичний момент прокатки:

$$M_{тпр2} = M_{пр2} + M_{тр2}, \text{ НМ} \quad (3.8)$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку моментів для верхнього валка

Позначення величин	Проходи			
	1	2	3	4
$M_{e1} \times \eta_{ш}, \text{ НМ}$	92	129	124	124
$M_{пр1}, \text{ НМ}$	35,2	66,25	86	88,5
$M_{тр1}, \text{ НМ}$	21	31,1	38,7	47
$M_{тпр1}, \text{ НМ}$	56,2	97,35	124,7	135,5

Таблиця 3.3 – Результати моментів для нижнього валка

Позначення величин	Проходи			
	1	2	3	4
$M_{e2} \times \eta_{ш}, \text{ НМ}$	101	155	169	166
$M_{пр2}, \text{ НМ}$	35,2	66,25	86	88,5
$M_{тр2}, \text{ НМ}$	38,4	57	71	86,1
$M_{тпр2}, \text{ НМ}$	73,6	123,25	157	174,6

Похибка розрахунків теоретичних моментів прокатки відносно експериментальних:

$$\Delta = \frac{M_{епр} - M_{тпр}}{M_{тпр}} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

Для верхнього валка:

1. Прохід $\Delta_{1В} = \frac{92-56,2}{56,2} \times 100\% = 63\%$
2. Прохід $\Delta_{2В} = \frac{129-97,35}{97,35} \times 100\% = 32\%$
3. Прохід $\Delta_{3В} = \frac{124-124,7}{124,7} \times 100\% = 0,4\%$
4. Прохід $\Delta_{4В} = \frac{124-135,5}{135,5} \times 100\% = 8\%$

Для нижнього валка:

1. Прохід $\Delta_{1Н} = \frac{101-73,6}{73,6} \times 100\% = 37\%$
2. Прохід $\Delta_{2Н} = \frac{155-123}{123} \times 100\% = 26\%$
3. Прохід $\Delta_{3Н} = \frac{169-157}{157} \times 100\% = 7,6\%$
4. Прохід $\Delta_{4Н} = \frac{166-174,6}{174,6} \times 100\% = 4,9\%$

Як уже було сказано вище для характеристики динамічного навантаження вводять коефіцієнт динамічності. Коефіцієнти динамічності навантаження для шпинделів:

$$K_{e1} = \frac{M_{\max 1}}{M_{y1}} ; \quad K_{e2} = \frac{M_{\max 2}}{M_{y2}} \quad (3.10)$$

Знаходимо коефіцієнти K_{e1} і K_{e2} для кожного прохода прокатки:

1. $K_{e1} = \frac{120}{90} = 1,33$ $K_{e2} = \frac{133}{98} = 1,34$
2. $K_{e1} = \frac{168}{125} = 1,35$ $K_{e2} = \frac{210}{150} = 1,4$
3. $K_{e1} = \frac{180}{123} = 1,46$ $K_{e2} = \frac{210}{170} = 1,24$
4. $K_{e1} = \frac{188}{120} = 1,57$ $K_{e2} = \frac{218}{164} = 1,33$

Як відомо коефіцієнт динамічності для металургійного обладнання скаладає 2, а у випадку зношення третьових вузлів може дещо збільшуватися, отримані дані в ході експериментального дослідження вказують на те, що

обладнання шпиндельного вузла знаходиться в справному стані та до заміни вкладишів є ще час. Розроблену методику можна брати за основу для створення діагностичного моніторингу роботоспроможних станів обладнання приводної частини прокатного стану.

3.3 Аналіз та обробка результатів проведення експерименту

Розглянемо розрахункову схему, в якій знаходяться відомі зазори позначені як зазор Δ_{12} (рисунок 3.7)

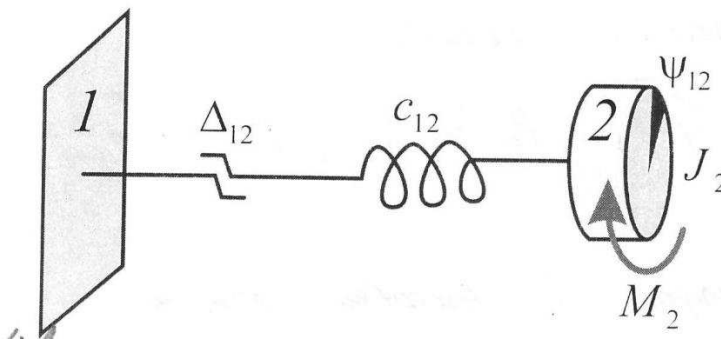


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема: 1 – привод, 2 – виконавчий орган

Відношення максимального моменту M_{12} до моменту сталого режиму прокатки $M_{2ст.}$ дасть вираз коефіцієнта динамічності:

$$\eta = 1 + \sqrt{\left[\frac{M_{12}(t_{зак})}{M_{2ст.}} - 1 \right]^2 + \frac{J_2}{C_{12}} \left[\frac{M_{12}(t_{зак})}{M_{2ст.}} \right]^2}, \quad (3.11)$$

З урахуванням зазорів, вплив яких відображено в значеннях:

$$M_{12}(t_{зак}) = C_{12} \psi_{12} = C_{12} (\omega_{вал} \times t - \varphi_2), \quad (3.12)$$

та його похідна

$$\dot{M}_{12}(t_{\text{зак}}) = C_{12} \dot{\psi}_{12} = C_{12} (\omega_{\text{вал}} - \dot{\phi}_2), \quad (3.13)$$

Цей вираз несе узагальнений характер і дозволяє аналізувати різні випадки навантаження.

Якщо замикання зазора відбувається в момент завершення захвата, то $M_{12}(t_{\text{зак}}) = 0$ $\dot{M}_{12}(t_{\text{зак}}) = C_{12} \dot{\psi}_{12}$

тоді вираз має вигляд:

$$\eta = 1 + \sqrt{1 + \frac{J_2 C_{12} \dot{\psi}_{12}^2}{M_{2\text{ст}}^2}}, \quad (3.14)$$

де M_{12} – момент сил пружності, НМ

$M_{2\text{ст.}}$ – сталий момент прокатки, НМ

J_2 – момент інерції робочих валків і приведених до них мас, КГМ²

C_{12} – жорсткість зв'язку з валками на ділянці 1...2, НМ

$\dot{\psi}_{12}$ – відносна швидкість кутів повороту мас і зазора.

Як видно, в усіх випадках, коли $\dot{\psi}_{12} \neq 0$, коефіцієнт динамічності $\eta > 2$ за рахунок додання від ударного замикання зазорів, показаної другим доданком під радикалом.

Значення цього доданку залежить:

- від конструктивних параметрів C_{12} і J_2 (з їх збільшенням η зростає)
- від технологічного навантаження $M_{2\text{ст.}}$. (збільшення $M_{2\text{ст.}}$ веде до зниження η)
- від відносної швидкості мас $\dot{\psi}_{12}$ в момент замикання зазора (чим більше $\dot{\psi}_{12}$, тим більше η)
- Відносна швидкість $\dot{\psi}_{12}$ зростає зі збільшенням зазорів в трансмісії прокатного стану.

Так як жорсткість і відношення мас для даного прокатного стану є величинами постійними, то додаткові навантаження від співудару в зазорах при

захваті металу валками будуть визначатися значеннями моментів електродвигуна і величинами зазорів в з'єднаннях.

Результати визначення коефіцієнта динамічності експериментальним шляхом наведено в таблицях 3.4-3.7, за значеннями яких побудовані графіні залежності рисунок 3.8-3.11.

Таблиця 3.4 – Результати експериментального дослідження залежності коефіцієнта динамічності від момента прокатки на верхньому валку

Момент прокатки $M_{ст}$, Нм	90	120	123	125
Коефіцієнт динамічності K_e	1,33	1,57	1,46	1,35

Таблиця 3.5 – Результати експериментального дослідження залежності коефіцієнта динамічності від момента прокатки на нижньому валку

Момент прокатки $M_{ст}$, Нм	98	150	164	170
Коефіцієнт динамічності K_e	1,34	1,4	1,33	1,24

Таблиця 3.6 – Результати експериментального дослідження залежності коефіцієнта динамічності від зазору на верхньому валку

Момент прокатки $M_{ст}$, Нм	98	150	164	170
Коефіцієнт динамічності K_e	1,34	1,4	1,33	1,24

Таблиця 3.7 – Результати експериментального дослідження залежності коефіцієнта динамічності від зазору на нижньому валку

Момент прокатки $M_{ст}$, Нм	98	150	164	170
Коефіцієнт динамічності K_e	1,34	1,4	1,33	1,24

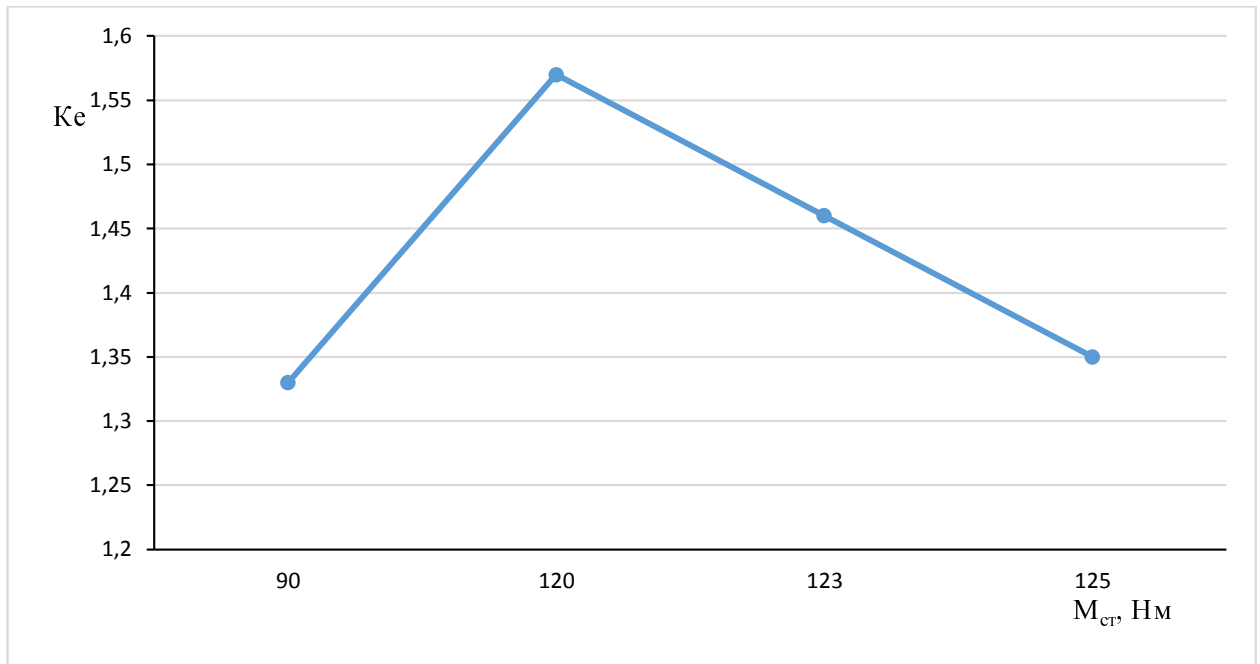


Рисунок 3.8 – Графік залежності коефіцієнта динамічності від моменту прокатки на верхньому валку

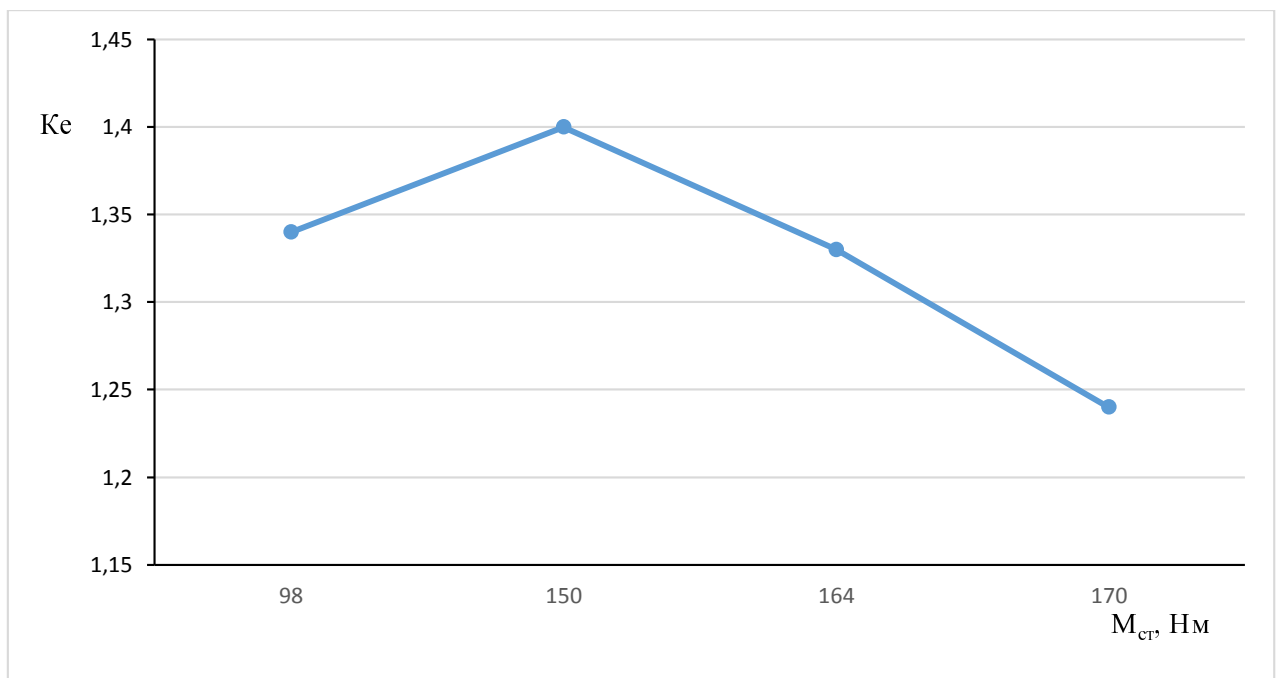


Рисунок 3.9 – Графік залежності коефіцієнта динамічності від моменту прокатки на нижньому валку

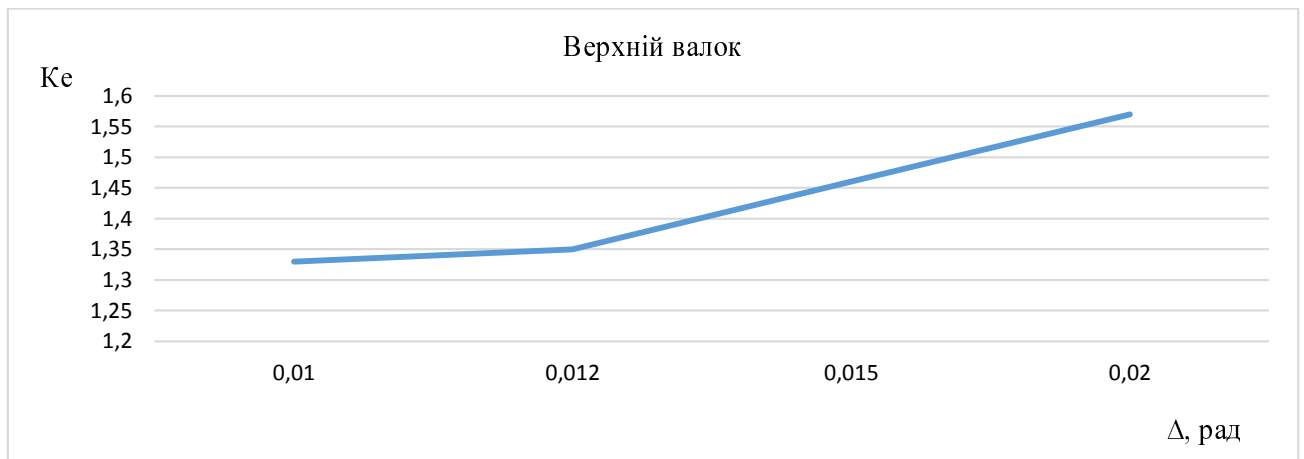


Рисунок 3.10 – Графік залежності коефіцієнта динамічності від зазору прокатки на верхньому валку

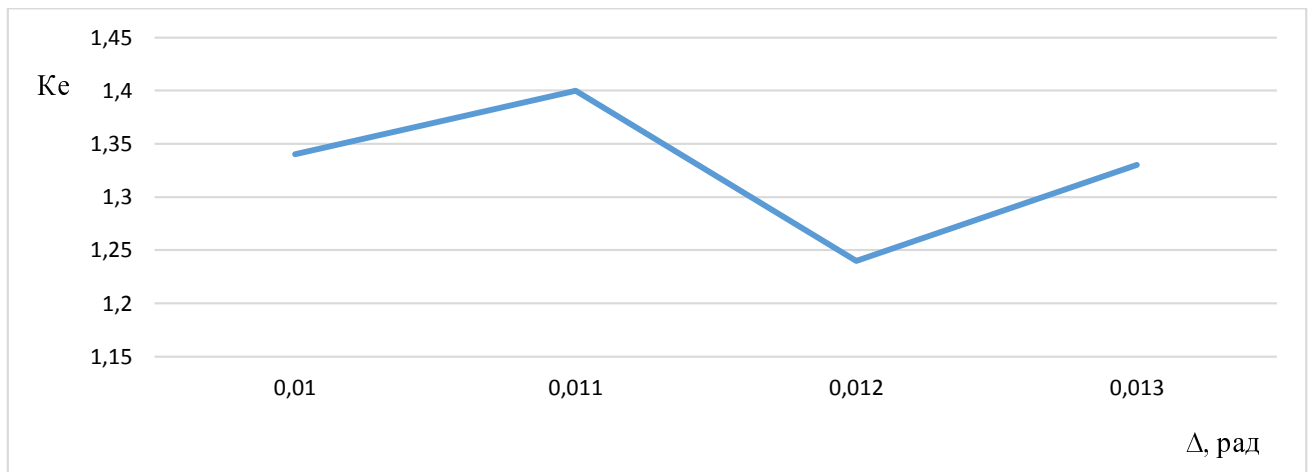


Рисунок 3.11 – Графік залежності коефіцієнта динамічності від моменту прокатки на нижньому валку

Результати роботи підтвердили, зі збільшенням зазорів в лінії приводу зростає відносна швидкість мас в момент замикання зазорів, що призводить до збільшення динамічного навантаження. В залежності від величини зазора в з'єднаннях елементів приводу виникають пружні удари, які приводять до передчасного зносу і виходу їх з роботи. Отримані графічні залежності вказують на те, що при несталому русі приводу, коли відсутня відновлювальна сила, що вибирає зазори, зазори можуть викликати значні динамічні навантаження.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища за умов холодної прокатки

Достатньо повне уявлення про рівень механізації можна отримати шляхом певних витрат механічної та ручної праці.

По ділянці рівень механізації праці становитиме 34,4 %. Кранові машиністи – це професії, що належать до групи «а», оскільки їхня робота автоматизована і механізована повністю; а професії електро-газозварювальник, слюсар-ремонтник, слюсар ремонтник (мастильник) та слюсар інструментальник відносяться до групи «в» – ручної праці.

Шкідливості та небезпеки діляниці холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» належать до фізичної групи [38]. До цієї групи належать: пил, шум, зміна температури всередині цеху.

Наведені вище шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань, а також спричиняють зростання патологій з короткочасною втратою працездатності. Відповідно до гігієнічної класифікації праці робоче місце слюсаря - ремонтника належить до III класу, у якому шкідливі умови праці перевищують гігієнічні нормативи шкідливих чинників, і мають : 1 чинник 3 ступеня, 3 чинника 2 ступеня, 7 чинників 1 ступеня. За показниками робоче місце відноситься до шкідливих та тяжких умов праці, що відповідає списку №1.

Згідно зі списком №1: пенсійний вік за пільговими умовами для чоловіків становить 50 років, для жінок 45 років, дається додаткова відпустка 7 днів, дається молоко, збільшення до зарплати 24%.

Карту умов праці слюсаря ремонтника наведено в таблиці 7.1

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці для чергового і ремонтного слюсаря

Чинники	Нормативне значення, ГДК, ПДК	Фактичне значення	III клас шкідливих та небезпечних умов., та характер праці			Час дії фактора % за зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,014	1,44			83,1
2 клас безпеки						
Моноетаноламін	0,5	1,64		3,28 _p		83,1
Диметиламін	1,0	2,27	0,322			
Кислота сірчана	1,0	3,1	0,704			
Етилмеркаптан	1,0	1,42				
3-4 клас безпеки						
Олії мінеральні	5,0	26,5		5,3 _p		83,1
Азот діоксид	2,0	7,9	2			83,1
Ангідрид сірчистий	10,0	12,3	1,25 _p			83,1
Аміак	20,0	25,7	1,56			85
Азоту Оксид	5,0	39,2	1,56			
Етиленгліколь	5,0	7,8	1,56			
Хрому оксиди	1,0	1,5	1,56			
Оцтова кислота	5,0	17,5	3,5			
2. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³						
Вміст кремнію діоксиду – 2,5%	4,0	11,3		2,8 _p		83,1
4. Шум, Дб	80	97			17	100
12. Статичне навантаження: Величина навантаження за зміну під час утримання вантажу						
- за участю м'язів тулуба та ніг	До 43000	60660	60660			82

Для захисту від всіх небезпечних факторів, що наведені в таблиці 4.2 робітники забезпечуються згідно [39] спецодягом та засобами індивідуального захисту.

Таблиця 4.2 – Технічні заходи захисту робочих реверсивного стану «1680» від впливу шкідливих чинників виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний чи шкідливий чинник виробничого середовища.	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1.	Запиленість	Витяжна вентиляція	-	-	Над кліттю стану
2.	Запиленість	Респіратор СИЗОД	"Пелюстка" 40	ГОСТ 12.4.028 – 76	Індивід.
3.	Температура	Утеплена куртка, ватні штани,	ДСТ 12.4.103-80	Тип Т	Індивідуально
4	Шкідливі хімічні речовини	Теж що і при запиленості + костюм х/б рукавиці	ДСТ 12.4.086 – 80	Тип Т, Тип Н	Індивідуально
5	Шум	Навушники проти-шумові	-	Придатний до 110 дБ	Індивідуально

4.2 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи його кількість у повітрі, все обладнання закрито парасольками (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітроводів з пристроями для очищення повітря, що видаляється. Також у прольоті ділянки реверсивного стану «1680» використовують природну вентиляцію повітря.

В таблиці 4.3 наведено оптимальні норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні виробничих приміщень [40].

У такому вигляді вентиляції повітря надходить та видаляється через вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Таблиця 4.3 – Оптимальні норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні виробничих приміщень[40].

Характеристика виробничих приміщень з надлишковою теплоділенням (більше або менше 23 Вт/м ³)	Категорія роботи по тяжкості	Холодний та перехідний періоди року (темп. нар. повітря нижче +10 °С)				Теплий період року (температура зовнішнього повітря + 10 °С та вище)			
		На постійних робочих місцях			Температура повітря поза постійними робочими місцями, °С	На постійних робітників місцях.			Температура повітря
		Темп. возд., °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря м/с		Темп. пов., °С	Відн. волог. повітря, %	Швидкість руху повітря м/с	
Приміщення, характеризовані значними надлишками тепла	Важка	16-18	40-60	не більше 0,3	12-20	17-20	40-60	не більше 0,3	не більше ніж на 5 °С вище середньої темп. зовнішнього пов.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) у яких як теплоносії використовують пар. Температура пари

знаходиться в межах 120 – 140 °С. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепlopостачання.

4.2.2 Освітлення виробничих приміщень

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності очей та може бути причиною нещасних випадків та їх захворювань.

Характеристика приміщення ділянок згідно [41]:

- характер робіт	середня точність
- Розмір об'єкта розпізнавання	від 0,2 до 1 мм
- Розряд зорової роботи	IV
- підрозряд роботи	B
- контрастність об'єкта розпізнавання	середня
- фон	середній
- Е Н - штучна (загальне)	2 00 лк
- Коефіцієнт природного освітлення	2,24%

Для ремонту обладнання передбачено штучне освітлення. На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або у місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робітника освітлення та охоронне При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, оскільки різкий контраст між яскраво освітленими

та неосвітленими місцями стомлює очі, уповільнює швидкість роботи та нерідко є причиною нещасних випадків.

Для штучного освітлення використовуються стельові лампи типу LED, світильники типу «Астра»;

Для місцевого освітлення використовують лампи типу LED, розжарювання потужністю 150 Вт і світильники НСП-200.

4.3 Техногенна безпека

4.3.1 Заходи безпеки при виконання ремонтних робіт

При роботі на обладнанні реверсивного стану «1680» необхідно, щоб дотримувалися умови техніки безпеки перед початком роботи та в процесі та після закінчення роботи.

Перед початком роботи необхідно:

- переконатися у справності роботи окремих вузлів машин;
- розпочинаючи роботу перевірити електроізоляцію [42].

В процесі роботи:

- під час проведення робіт необхідно стежити за справністю всіх елементів приводу машин;
- при експлуатації та технічному обслуговуванні приводу окремих механізмів машин необхідно дотримуватись правил безпеки відповідно до [43], а також керуватися “Загальними правилами безпеки для підприємств та організацій металургійної промисловості”;
- до керування та обслуговування машин допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, засвоїли правила техніки безпеки на робочому місці, а також ознайомилися з цим технічним описом та інструкцією з експлуатації.

Електроустаткування ділянки відноситься до установок до 1000В. Умови безпечної експлуатації значною мірою залежать від захисних пристроїв.

Усі струмопровідні частини ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві та масляні фарби [42].

Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з поверхнею, що покривається, утворювати на ній токонепровідну вологонепроникну, механічно міцну плівку.

Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист та вимикачі, встановлені автомати та плавкі запобіжники [42].

На всіх частинах устаткування, що обертаються, повинні бути встановлені захисні щити, кожухи [44-45].

На вантажопідіймальному устаткуванні, крім перелічених вище вимог, повинні бути встановлені обмежувачі вантажопідйомності, а також відсутнє мимовільне опускання вантажу. Робота вантажопідіймальних машин та пристроїв для транспортування вантажів у момент пусків повинна супроводжуватися звуковими сигналами [46].

Дотримання всіх норм та правил техніки безпеки призводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

4.3.2 Заходи пожежної безпеки

Ділянка реверсивного стану «1680» має категорію з пожежонебезпечності В (горючі та важко горючі речовини та матеріали; речовини при взаємодії з водою або киснем та одна з одною без наслідків) . Будівля ділянки відноситься до 1 ступеня вогнестійкості (будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів) [47].

До первинних засобів пожежогасіння на комбінаті відносять: вогнегасники, пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики із піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири та ін.) [48].

Дільниця має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами і рукавами, а також і має пожежні щити, які встановлені на ділянках цеху, в комплект яких входять: вогнегасники ВП – 2 шт., ящик з піском 1 шт., лопати 2 шт., багри 3 шт., Лопати 2 шт.

У складських приміщеннях стоять бочки з водою місткістю 0,2 м³ з укомплектованими цебрами місткістю 0,008 м³.

4.4 Розробка засобів пожежогасіння

Для забезпечення пожежної безпеки безпосередньо ділянки прокатки застосовуються спринклерні або дренчерні зрошувачі. Баки з водою або розчином піноутворювача (рис.4.1) для гасіння встановлено у маслопідвалі.

Спринклерний зрошувач – зрошувальна головка, що встановлюється на трубопроводах систем водного та пінного пожежогасіння. Забезпечені тепловим замком – клапаном закритим легкоплавким припоєм. Автоматично спрацьовує у разі підвищення температури [49].

Дренчер – відкрита зрошувальна головка, що встановлюється на трубопроводах водного та пінного автоматичного пожежогасіння. Подача води може здійснюватися сигналом від датчиків або вручну [50].

Для визначення ємності баків з водою або розчином піноутворювача скористаємося наступними даними:

- площа приміщення $S = 500 \text{ м}^2$;
- висота $h = 12 \text{ м}$;
- інтенсивність зрошення водою $q = 0,25 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;
- час роботи установки $t = 60 \text{ хв}$;
- максимальна відстань між зрошувачами $L_{\text{max}} = 5$.

Приймаємо величину напору перед зрошувачами $H = 10 \text{ МПа}$.

Визначаємо об'єм бака Q_6 (рисунок 4.1):

$$Q_6 = S \cdot q \cdot t = 300 \text{ м}^2 \cdot 0,15 \text{ л} / (\text{с} \cdot \text{м}^2) \cdot 3600 \text{ с} = 162000 \text{ л} \text{ або } 162 \text{ м}^3. \quad (4.1)$$

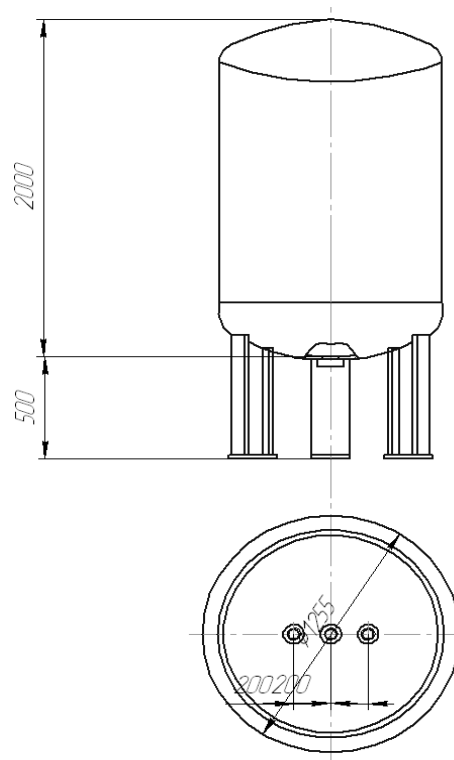


Рисунок 4.1 – Пожежний бак з водою

Визначимо витрату води через один зрошувач Q_d :

$$Q_d = k \cdot \sqrt{H} \text{ л/с}, \quad (4.2)$$

де k – Коефіцієнт продуктивності зрошувача.

Для пожежогасіння вибираємо зрошувач з діаметром вихідного отвору 20 мм. Тоді Q_d дорівнюватиме:

$$Q_d = 0,2 \cdot \sqrt{10} = 1,32 \text{ л/с}.$$

а годинна витрата води через один зрошувач складе:

$$Q_{\text{гр}} = 0,63 \cdot 3600 = 2276 \text{ л/год або } 2,276 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (4.3)$$

Визначаємо кількість зрошувачів n :

$$n = \frac{Q_{\text{б}}}{Q_{\text{др}}} = \frac{162}{2,276} = 71 \text{ шт.} \quad (4.4)$$

Розподіляємо зрошувачі за площею ділянки, під стелею (рис.4.2).

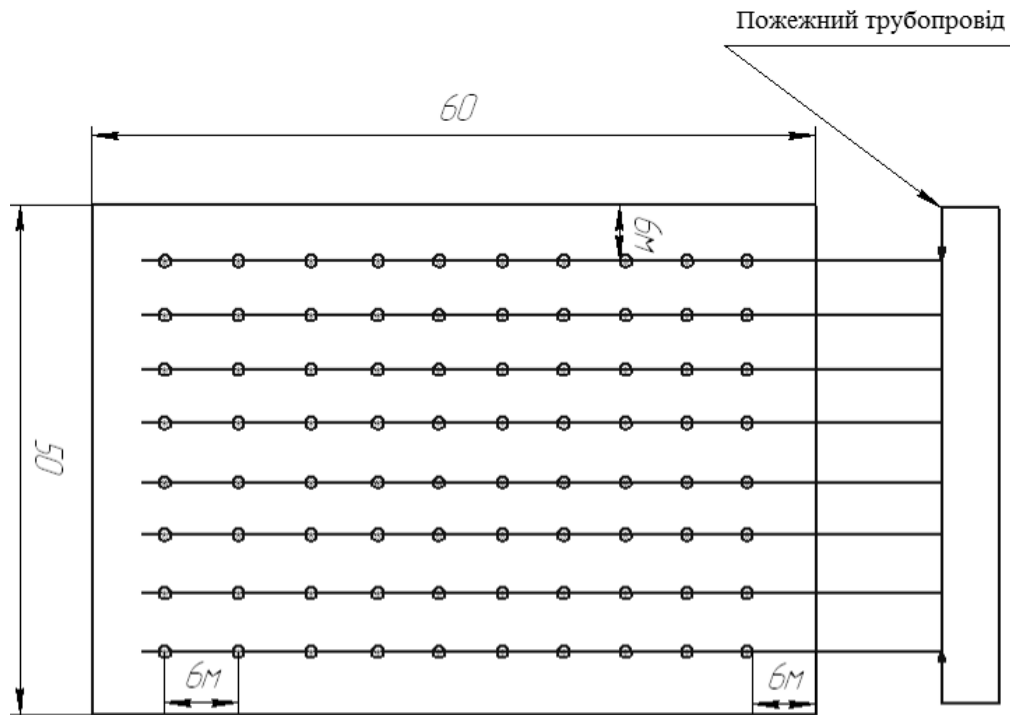


Рисунок 4.2 – Схема розподілу розпилювачів

Втрати напору H_1 , м, на ділянці трубопроводів, що транспортують воду:

$$H_1 = \frac{Q^2}{B}, \quad (4.5)$$

де Q – Витрата води на розрахунковій ділянці трубопроводу л/с;

B – характеристика трубопроводу, що визначається за формулою:

$$B = \frac{k_1}{l}, \quad (4.6)$$

де k_1 – дослідний коефіцієнт;

l - Довжини ділянки трубопроводу, м.м.

Для наших умов:

$$Q = \frac{Q_6}{3600} = \frac{162000}{3600} = 45 \text{ л/с} \quad (4.7)$$

Для транспортування води, обираємо сталеву електрозварювальну трубу з діаметром умовного проходу 250 мм та товщиною стінки 3,2мм. Для такої труби коефіцієнт $k_1 = 27060$

Приймаємо довжину трубопроводу 100м.

$$V = \frac{27060}{100} = 270,$$

$$H_1 = \frac{(45)^2}{270} = 7,5 \text{ МПа.}$$

Необхідний тиск води на установці пожежогасіння:

$$H^1 = H + H_1 + H_2, \quad (4.8)$$

де H_2 – втрати напору на вузлах управління (0,1 МПа).

Тоді:

$$H^1 = 10 + 7,5 + 0,1 = 17,6 \text{ МПа.}$$

Таким чином розроблена система дозволить своєчасно локалізувати непередбачувану ситуацію пов'язану з можливою пожежною небезпекою на дільниці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням прокатного цеху показало, що одним з «вузьких» місць цеху є недостатньо ефективна робота привода прокатної кліті широкоштабового стану 1680.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для передачі крутного моменту від електродвигуна до робочих валків використовуються різні конструкції шпindelних пристроїв, які мають ті ж самі недоліки, що й устаткування ПАТ «Запоріжсталь».
3. В результаті модернізації шпindelного пристрою будуть досягнуті наступні цілі – збільшення продуктивності, терміну служби, та зменшення незапланованих простоїв.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що оптимальним обладнанням для передачі крутного моменту від електродвигуна до робочого валка в умовах дільниці холодної прокатки є зубчасті шпindelі.
5. На підставі проведених експериментальних досліджень можна стверджувати, що зміна коефіцієнта динамічності вказує на стан вузла і може слугувати маркером для розроблення систем моніторингу та діагностики роботоздатних станів обладнання в режимі реального часу.
6. Результати роботи підтвердили, що зі збільшенням зазорів в лінії приводу зростає відносна швидкість мас в момент замикання зазорів, що призводить до збільшення динамічного навантаження. Отримані графічні залежності вказують на те, що при несталому русі привода, коли відсутня відновлювальна сила, що вибирає зазори, зазори можуть викликати значні динамічні навантаження.
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки в доменному цеху ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ніколаєв В. О. Обтискне та сортове виробництво прокату: навч. посібник. Запоріжжя: ЗДІА. 2015. 128 с.
2. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб: навч. посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2017. 100 с.
3. Федьков Г. О., Жук А. Я., Хімін В. М. Механічне обладнання металургійних заводів. Обладнання для обробки металів тиском : метод. вказівки до лаб. практикуму. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 56 с.
4. Прищип М. Г. Обладнання прокатних цехів : навч. посіб для студентів ЗДІА металург. спец. ден. та заоч. форм навчання / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 115 с.
5. Ніколаєв, В. О., Бондаренко Ю. В. Сучасний стан прокатного виробництва : навч. посіб. Ч. 1 Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 196 с.
6. Динаміка та міцність машин: навч. посібник для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”/ Укл. Е. П. Грибков. Краматорськ : ДГМА, 2019. 64 с.
7. Верба І. І., Даниленко О. В. Проектування обладнання галузевого машинобудування: Шпindelльні вузли на опорах кочення: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра, за освітньою програмою „Технології комп’ютерного конструювання верстатів, роботів та машин“ спеціальності 131 „Прикладна механіка“. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 135 с.
8. Бейгул О.О., Колесник І.А. Динаміка та міцність металургійних машин. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2006. 95 с.
9. Федьков Г. О., Хімін В. М., Кобрін Ю. Г. Проблеми та напрямки подальшого розвитку металургійного обладнання : навч.–метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 78 с.
10. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Обґрунтування економічної доцільності технічних рішень: навч. посібник. Запоріжжя:

- Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2011. 363 с.
11. Іванченко Ф. К., Гребеник В. М., Ширяєв В. І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. К: Вища шк., 1995. 455 с.
 12. Біметалевий вкладиш шарніра ковзання універсального шпинделя : пат. 21883 Україна : F16D3/26. № 93060645 ; заявл. 19.01.1993 ; опубл. 30.04.1998. 3 с.
 13. Ніколаєв В.О. Теорія обробки металів тиском: навч. посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 110 с.
 14. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство : підручник. К. : Вища освіта, 2012. 548 с.
 15. Ніколаєв В. О. Теорія пластичного плину твердих тіл: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для студентів ЗДІА напряму 8.0504104 "Обробка металів тиском". Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 24 с
 16. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
 17. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352с.
 18. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2–ге вид. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
 19. Мархель І. І. Деталі машин : навч. посіб. К. : Алерта, 2005. 368 с.
 20. Трач В. М., Подворний А. В. Опір матеріалів (спеціальний курс), теорія пружності та пластичності : підручник. Київ : Каравела, 2016. 434 с.
 21. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник. 2–ге вид. – Львів: афіша, 2003. 560 с.
 22. Швабюк В. І. Опір матеріалів : навч. посіб. Київ : Знання, 2009. 380 с.
 23. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : Підруч. для ст. машинобуд. спец. вищ. навч. закл. К., 1993. 655 с.

24. Білоус О. І. Конспект лекцій з дисципліни "Монтаж, діагностика та ремонт обладнання". Кам'янське : ДДТУ, 2017. 113 с.
25. Жук А. Я., Малишев Г. П., Желябіна Н. К., Таратута К. В. Монтаж металургійного обладнання : навч. посіб. Київ : Кондор, 2018. 330 с.
26. Баглай А.В. Стационарні системи моніторингу технічного стану промислового обладнання металургійного виробництва. *Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики: зб. матеріалів доп. учасн. XXII Міжнар. конф.* Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2018. С. 30.
27. Діагностування механічного обладнання металургійних підприємств: навч. посіб. / В.Я. Седуш, В.М. Кравченко та ін. Донецьк: Юго-Восток, 2004. 98 с
28. Fatigue Resistance Models of Structural for Risk Based Inspection / S. Belodedenko, V. Hanush and other. *Civil Engineering Journal*. 2020. Vol. 6. Issue 2. P. 375–383.
29. Спосіб визначення технічного стану устаткування крутильної системи лінії головного приводу прокатної кліті: пат. 70137 А Україна: МПК (2006) G01M 7/02. № 20031212642; заявл. 26.12.2003; опубл. 15.09.2004, Бюл. № 19.
30. Баглай А.В. Зв'язок вібраційних процесів в устаткуванні з технологією гарячої прокатки. *Машини та технології обробки металів тиском*: зб. Матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-техніч. конф. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 37–40.
31. Баглай А.В. Визначення технічного стану обладнання лінії приводу прокатних валків по швидкості расповсюдження ударного імпульсу. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ-2021*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-практич. конф. Дніпро: НМетАУ, 2021. С. 21–24.
32. Баглай А.В., Вереньов В.В. Динаміка та діагностика зазорів в клітях з багатонитковою прокаткою. *Технічна діагностика та неруйнівний*

- контроль*. 2020. № 3. С 58–60.
33. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Дослідження об'ємноструктурних і енергетичних перетворень в сталях при прокатуванні: монографія. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2018. 178 с.
34. Кравченко В.М. Смирнов В.А., Буцукин В.В. Знос лопасті універсального шпинделя прокатного стану. *Вісник Приазовського держного технічного університету. Серія: Технічні науки*. Маріуполь, 2012. Вип. 24. С. 262–265.
35. Витривалість при складному напруженому стані в аспекті подовження ресурсу технологічного устаткування промислових виробництв /С. В. Білодіденко, В. І. Гануш, Є. А. Іжевський та інші. *Теорія і практика металургії*. 2021. №4. С. 56–68
36. Application of risk-analysis methods in the maintenance of industrial equipment /S. V. Belodedenko, G. M. Bilichenko, O. M. Hrechanyi, M. S. Ibragimov. *Procedia Structural Integrity*. 2019. V. 22. P. 51-58.
37. Основи технічного обслуговування механічних систем за контролем безпеки / С. Білодіденко, Г. Біліченко, В. Гануш, А. Попов. *Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту*. 2011. спецвипуск, ч. 1. С. 170 - 178.
38. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
39. НПАОП 0.00–4.01–08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc–page?id_doc=28566.
40. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
41. ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. –

Режим доступу до ресурсу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>.

42. Правила улаштування електроустановок. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyyla-ulashtuvannya-elektroustanovok> (дата звернення: 10.07.2023).
43. ДСП 3.3.1.038-99. Підприємства чорної металургії. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц.
44. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц.
45. ДСТУ 2894-94. Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. 1994.
46. НПАОП 0.00-1.75-15. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. На заміну НПАОП 63.11-7.04-84, НПАОП 63.1-1.06-85 ; чинний від 2015-03-03. Вид. офіц. 2015.
47. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1-7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf>.
48. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. На заміну НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні ; чинний від 2023-04-07. Вид. офіц. 2014.
49. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка-центр, 2003. – 280 с.
50. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Форма т
1	Головна лінія прокатної кліті	1	A1
2	Шпindelний пристрій	1	A1
3	Шпindel нижній	2	A1
4	Шпindel зубчастий	1	A1
5	Встановлення датчиків на шпинделях	1	A1
6	Розробка засобів пожежогасіння	1	A1

ДОДАТКИ