

Міністерство освіти та науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний інститут  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет металургії  
(назва факультету)  
Кафедра металургійного обладнання  
(повна назва кафедри)

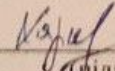
## ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Визначення факторів що впливають на працездатність  
правильної машини

Виконав: магістрант групи МБ-18-1 мд

Харакоз О.А.

(ПІБ)

  
(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

\_\_\_\_\_  
(шифр і назва)


Освітньо-професійна програма

Металургійне обладнання

(шифр і назва)

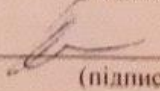
Керівник Таратута К.В.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Запоріжжя – 2020 рік

Запорізький національний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет металургії

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр  
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Й.К. Огінський

“ 19 ” 09 2019 року

**ЗАВДАННЯ**

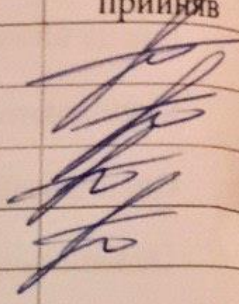
**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**

Харакоз Олексій Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Визначення факторів що впливають на працездатність правильної машини.  
керівник магістерської роботи доц., к.т.н. Таратута К.В.  
затверджені наказом вищого навчального закладу від “10” вересня 2019 року № 1540 – с.
2. Термін подання студентом роботи 08 січня 2020 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи моталки широкоштабового стану гарячої прокатки.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):  
1. Характеристика механічного обладнання цеху холодної прокатки. 2. Опис та розрахунки параметрів правильної машини 3. Дослідження роботи шпонкового з'єднання в умовах циклічних навантажень 4. Охорона праці та техногенна безпеки. Висновки та рекомендації.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Креслення загального виду – 1 шт ; 2. Складальні креслення – 2 шт; 3. Деталювання – 1 шт; 4. Креслення та плакати дослідницької частини – 1 шт.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
1	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
2	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
3	Таратута К.В., к.т.н., доцент	
4	Таратута К.В., к.т.н., доцент	

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Збір матеріалу на проектування	01.09.19 – 02.10.19	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	02.10.19 – 15.10.19	
3	Виконання теоретичної частини проекту	15.10.19 – 27.11.19	
4	Виконання графічної частини проекту	27.11.19 – 11.12.19	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	11.12.19 – 25.12.19	
6	Перевірка проекту консультантами	25.12.19 – 08.01.20	
7	Попередній захист проекту	08.01.2020	
8	Переплітання роботи	10.01.2020	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент Харчук (підпис) Харчук О.А. (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи [підпис] (підпис) Таратута К.В. (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Харакоз О.А. Визначення факторів що впливають на працездатність правильної машини

Випускна кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник К.В. Таратута. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет металургії, кафедра металургійного обладнання, 2020.

В роботі проведено визначення факторів що впливають на працездатність правильного обладнання. Проведено розрахунки навантажень, що діють на деталі правильної машини. Досліджено роботу шпонкових з'єднань деталей правильної машини в умовах циклічних навантажень.

Ключові слова: ПРАВИЛЬНАЯ МАШИНА, ШПОНКА, МОДЕЛЮВАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ

## ABSTRACT

Character A.A. Identification of factors affecting the performance of the correct machine.

Final qualification work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Branch engineering, scientific adviser K.V. Taratuta. Zaporizhzhya National University. Institute of Engineering. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgical Equipment, 2020.

The work identifies factors affecting the performance of the correct equipment. The calculations of the loads acting on the parts of the leveling machine are carried out. The operation of the keyed joints of the parts of the leveling machine under cyclic loads was investigated.

Key words: CORRECT MACHINE, KEYS, MODELING, LOADS

## АННОТАЦИЯ

Харакоз А.А. Определение факторов влияющих на работоспособность правильной машины.

Выпускная квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 133 - Отраслевое машиностроение, научный руководитель К.В. Таратута. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет металлургии, кафедра металлургического оборудования, 2020.

В работе проведено определение факторов влияющих на работоспособность правильного оборудования. Проведены расчеты нагрузок, действующих на детали правильной машины. Исследована работа шпоночных соединений деталей правильной машины в условиях циклических нагрузок.

Ключевые слова: ПРАВИЛЬНАЯ МАШИНА, ШПОНКИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, НАГРУЗКИ

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Характеристика механічного обладнання цеху холодної прокатки	9
1.1 Вантажопотоки цеху холодної прокатки	9
1.2 Технологія виробництва холоднокатаних листів з вуглецевої сталі	10
1.3 Характеристика механічного устаткування цеху	16
1.4 Визначення факторів що впливають на працездатність металургійного обладнання	18
2. Опис та розрахунки параметрів правильної машини	27
2.1 Опис правильної машини	27
2.2 Розрахунок робочої кліті п'ятироlikової правильної машини	29
2.3 Розрахунки найбільш навантажених вузлів та деталей на міцність, жорсткість і довговічність	34
2.4 Розрахунок зусиль в зачепленні швидкохідного ступеня редуктора	38
3 Дослідження роботи шпонкового з'єднання в умовах циклічних навантажень	54
4. Охорона праці та техногенна безпека	61
4.1. Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	61
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	63
4.3 Виробнича санітарія	64
4.4 Пожежна безпека	68
Висновки	70
Література	71
Додатки	74

## ВСТУП

### **Актуальність теми.**

Параметри технічного стану машини змінюються з часом її роботи. При цьому кожний параметр змінюється від номінального до граничного.

Під дією механічних навантажень виникають різні внутрішні напруження і, як наслідок, деформації, тріщини і поломки деталей. Навіть за найдосконалішої конструкції та ретельного обслуговування фізичне спрацювання обладнання неминуче.

В зв'язку з цим актуальними стають питання дослідження роботи з'єднувальних елементів приводу правильної машини для визначення факторів що впливають на працездатність.

**Мета та завдання дослідження.** Визначення навантажувальної здатності деталей приводу правильної машини для визначення факторів що впливають на їх працездатність.

Для досягнення поставленої у роботі мети визначені такі завдання дослідження:

- огляд і аналіз науково-технічних рішень щодо визначення факторів що впливають на працездатність металургійного обладнання;
- визначення основних навантажень та їх допустимих значень у приводі правильної машини;
- дослідження навантажень, що діють на шпонкові з'єднання приводу правильної машини.

**Об'єкт дослідження** – шпонкові з'єднання приводу правильної машини.

**Предмет дослідження** – вплив геометричних параметрів та типів шпонкових з'єднань на працездатність приводу правильної машини..

**Методи дослідження** включають комп'ютерне моделювання навантажень, що діють на елементи приводу, обробку результатів досліджень.

**Практичне значення одержаних результатів.** Проведені дослідження дають змогу у комплексі розв'язувати проблему визначення факторів що

впливають на працездатність з'єднувальних елементів правильного обладнання.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення роботи доповідалися на XXIV науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗНУ (Запоріжжя, ЗДІА, 2019 р.). Опубліковано 1 тези доповіді.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська випускна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи становить 80 сторінок, 21 таблиці, 19 рисунків, літератури, додатків.



## 1 Характеристика механічного обладнання цеху холодної прокатки

### 1.1 Вантажопотоки цеху холодної прокатки

Цех холодної прокатки №1 робить прокатку тонкої штаби й жерсті з товстих листів, які надходять у цех зі складів цеху гарячої прокатки гарячих листів (ЦГПТЛ). Товсті листи, у рулонах, надходять у травильне відділення, де з них шляхом хімічної обробки знімається окалина. Після травильного відділення рулони товстих листів ідуть у прокатку.

Прокатка здійснюється в прокатному відділенні на різних прокатних станах (реверс «1200» і «1680», «Тандем»). На реверсивних станах прокатка здійснюється в кілька проходів, а на стані «Тандем» прокатка ведеться в одному напрямку, тому що він є безперервним.

Після прокатки, метал надходить в термічне відділення де занурюється в методичні печі в яких відбувається відпал тобто вид термообробки проводиться з метою видалення залишкового напруження в листі, що виникла в результаті прокатки. Видалення залишкової напруги після процесу прокатки відбувається шляхом нагріву рулонів в методичних печах. Температура нагріву металу (низьковуглецевій сталі) 650-720 0C. З погляду структурних перетворень цей відпал являється рекристалізацією. Управління процесом нагріву здійснюється індивідуально для кожної печі. У печі автоматично поступає необхідна кількість тепла по заздалегідь заданому графіку до повної готовності рулонів. Це досягається застосуванням приладів, що діють автоматично. Після нагріву в методичних печах рулони охолоджуються при температурі навколишнього середовища. Після закінчення відпалу рулони поступають в дресирувальне відділення. У цьому відділенні, на дресирувальних станах, відбувається прокатка листів з метою додання структурі листа і його поверхні належного стану. Це робиться через те, що в процесі відпалу в структурі листа відбуваються деформації, а на його поверхні з'являються роздутості і хвилястості. Прокатка на дресирувальних станах здійснюється з відносно невеликим обтисканням близько 1-3% від товщини. Після проходження всього

циклу прокатка, готові рулони подаються на склад або відправляються на агрегати поперечного різання (АПР-1,2,3), де вони піддаються різанню на листи мірних довжин.

## 1.2 Технологія виробництва холоднокатаних листів з вуглецевої сталі

Кінцевою продукцією цехів холодної прокатки являються листи і штаби завтовшки 0,3-3,0 мм, шириною до 2350 мм, з вуглецевої сталі звичайної і підвищеної якості, а також з низьколегованих сталей. Значна частина листів і штаб випускається із захисними антикорозійними покриттям – цинковим, алюмінієвим, полімерними і ін.

Поверхня початкових гарячекатаних штаб покрита окалиною (оксидами). Якщо проводити холодне прокатка заготовок в такому стані, то окалина вдавлюватиметься в метал, різко погіршуючи якість його поверхні. Крім того, окалина, володіючи відносно високою твердістю, сприяє зносу прокатних валків. Тому першою необхідною технологічною операцією являється видалення окалини з поверхні гарячекатаних штаб.

Існує ряд способів видалення окалини, проте широке практичне застосування отримали два: хімічний і механічний. Хімічний спосіб полягає в розчиненні оксидів в кислотах; механічний в здійсненні пластичної деформації, сприяючої відлущуванню окалини з поверхні штаби. В даний час обидва ці способи часто застосовуються спільно, причому хімічний, званий таким, що труїть, є основним, а механічний – попереднім.

Повітряна окалина на поверхні гарячекатаної вуглецевої сталі практично складається з двох шарів: внутрішнього, прилеглого до металу - FeO (92-95%) і зовнішнього – магнетиту Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (5-8%). Іноді на зовнішній поверхні виявляється як найтонший шар третього оксиду – гематиту Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Найлегше піддається травленню шар, який має пористу будову і відносно малу міцність.

Інтенсивність травління сильно залежить від концентрації і температури травильних розчинів.

Водень, що виділяється при травлінні, сприяє видаленню окалини, але разом з тим дифундує в метал, знижуючи його пластичність. Така небажана зміна властивостей металу називається водневою (травильною) крихкістю. Для оберігання металу від проникнення водню і зменшення дії кислоти на сам метал, в травильні розчини вводяться присадки – інгібітори. Вони містять речовини, які адсорбуються на поверхні металу і утворюють молекулярну плівку, що захищає його від розчинення; при цьому швидкість розчинення оксидів не сповільнюється. Інгібітори виконують і іншу важливу функцію: вони викликають утворення піни на поверхні травильного розчину, зменшуючи тим самим випаровування кислоти і покращуючи атмосферні умови в цеху.

В даний час травління в соляній кислоті витісняє сірчаноокислотне, тому що використання соляної кислоти як травильне середовище має низку переваг. Перш за все, соляна кислота є активнішою, ніж сірчана, особливо по відношенню до оксидів, що дозволяє скоротити час процесу травління. Якість поверхні штаб після обробки в соляній кислоті краще, ніж після обробки в сірчаній. Скорочується виділення водню, у зв'язку з чим зменшується небезпека виникнення водневої крихкості. Соляна кислота легше і цілковито видаляється з поверхні штаб в промивних ваннах. Важливе значення має та обставина, що утворюванні при травлінні солі соляної кислоти досить легко піддаються термічному розщеплюванню на хлористий водень і оксиди заліза. Обидва цих продукту повертаються у виробництво. Хлористий водень, розчиняючись у воді, дає свіжу соляну кислоту, а оксиди заліза використовуються в порошковій металургії і інших галузях промисловості.

Проте травління із застосуванням соляної кислоти зустрічає і певні труднощі. Застосування вельми агресивної соляної кислоти вимагає відповідного захисту обладнання травильних агрегатів від її дії. Внутрішні поверхні травильних ванн викладаються з кислототривкої цегли, облицьовуються гранітними і базальтовими плитами; кришки ванн зсередини покриваються шаром кислотостійкої гуми і так далі. Особливу небезпеку представляють дуже шкідливі виділення пари хлористого водню в атмосферу.

У зв'язку з цим необхідно забезпечувати ретельну герметизацію ванн і мати могутню вентиляційну систему для відсмоктування випаровувань, що виділяються.

У сучасних крупних цехах холодного прокатка травління гарячекатаних штаб здійснюється в травильних агрегатах безперервної дії.

Протравлені і промаслені штаби в рулонах поступають на стани холодного прокатка.

Рулони ланцюговим транспортером подаються в розмотувач стану. Передній кінець штаби відгинається спеціальним пристроєм і задається в ролики, що тягнуть, які підводять смугу до валків кліті. Пройшовши через кліті (із заданим обтисканням), передній кінець штаби потрапляє на барабан моталки. За допомогою захватувача починається намотування смуги на барабан. Всі вказані початкові операції виконуються на малій, заправній швидкості (0,5-2,0 м/с). Після намотування на барабан 3-4-х витків штаби стан переводиться на робочу швидкість. Коли прокатка рулону завершується і в розмотувачі залишається 2-3 витки штаби, швидкість стану знову знижується до заправної. Якщо рулони, що поступають на стан, складені (зварені) з декількох штаб, то прокатка зварних швів також здійснюється на зниженій швидкості (близько 5 м/с).

Сумарне обтискання при холодній прокатці вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей в більшості знаходиться в межах 50-80 %. Важливе значення має розподіл приватних обтискань по клітях або проходах (на реверсивних станах); воно впливає на точність прокатки, завантаження обладнання, продуктивність стану. На практиці застосовуються різні варіанти розподілу обтискань по клітях безперервного стану. Одним з поширених є варіант, що характеризується послідовним зменшенням відносних обтискань від першої кліті до останньої. При такому розподілі обтискань вдається забезпечити приблизно рівномірне завантаження клітей по зусиллю прокатки і потужності, що витрачається, оскільки зниження обтискань компенсує

зростання контактного тиску у зв'язку з наклепом металу і зменшенням його товщини. Такий режим обтискань часто застосовується на одноклітьових реверсивних станах, де особливо важливо підтримувати незмінність зусиль прокатки по проходах.

Другий варіант передбачає застосування невеликого відносного обтискання в першій кліті. Перевагою такого режиму є те, що в першому проході відбувається вирівнювання штаби по товщині, тобто зменшується подовжня різнотовщинність. На практиці зустрічаються і інші схеми обтискань. Іноді у всіх клітках відносне обтискання приймається приблизно однаковим.

Холодне прокатка штаб завжди ведеться з натягом. Воно створюється примусово між всіма клітками за рахунок деякого розузгодження чисел обертів валків (в порівнянні з вільною прокаткою). У останній кліті безперервного стану переднє натягнення створюється дією моталки. На реверсивних станах моталки створюють переднє і заднє натягнення.

Позитивна роль натягу полягає, по-перше, в тому, що знижується тиск металу на валки, і по-друге, забезпечується отримання рівних штаб. Проте застосування дуже високих натягнень небезпечно із-за виникнення розривів штаб при плющенні. Зазвичай величина питомого натягу встановлюється в межах  $(0,2-0,5) \tau$  де  $\tau$  – межа текучості металу з врахуванням наклепу. Питоме натягнення між останньою кліткою і моталкою приймається нижчим  $0,1 \tau$  щоб уникнути утворення надмірно щільних рулонів і зварювання витків при подальшому відпалі.

Наступною основною технологічною операцією, після прокатки, являється відпал, який необхідний для усунення наклепання, отриманого при холодній деформації, і відновлення пластичних властивостей металу. Температура нагріву металу (низьковуглецевій сталі)  $650-720$  °C. З погляду структурних перетворень цей відпал є рекристалізацією.

Відпал здійснюється в ковпакових печах в рулонах (іноді в пачках) або в безперервних агрегатах з протяжними печами. Найбільш поширені ковпакові печі одностопні.

Весь цикл відпалу можна розділити на три періоди: нагрів металу до заданої температури (10-30 ч); витримка при максимальній температурі (6-25 ч); охолодження до температури навколишнього середовища (25-40 ч). Загальна тривалість перебування металу на стенді складає від 40 до 80 ч, залежно від маси рулону, марки сталі, товщини штаби і інших факторів. Один нагрівальний ковпак обслуговує 2-4 стенди. Продуктивність печі з розрахунку на один стенд складає 1,5-4,5 т/год.

Після відпалу тонколистова сталь піддається дресуванню. Це процес обробного холодного прокатка з дуже невеликим обтисканням, зазвичай в межах 0,8-1,5 %. Дресування штаб товщиною 0,3 мм ведеться в один пропуск.

Якщо піддавати штампуванню відпалену листову сталь, що не пройшла дресування, то поверхня виробів стає грубо жорсткою, утворюється так звана «апельсинова кірка». Це являється наслідком виходу на поверхню лінії зрушення. Вироби з такою поверхнею мало придатні для фарбування, емалювання або нанесення інших покриттів. В процесі дресування тонкі приконттактні шари металу обтискаються у валках і згодом при штампуванні лінії зрушення на поверхні не проступають. Крім сказаного, дресування дає і інші позитивні ефекти: зменшується хвилястість і коробоватість штаб, декілька поліпшуються механічні властивості металу (межа плину трохи знижується, міцність збільшується) формується необхідний мікрорельєф поверхні продукції.

При рулонному способі виробництва дресування ведеться з переднім і заднім натягненням. На практиці величина питомого натягу найчастіше знаходиться в межах: переднє (0,2-0,5) Т, заднє (0,1-0,2) Т. Величина вживаних натягнень росте із зменшенням товщини прокатуваних штаб.

Раніше дресування проводилося на сухих валках. Нині доведено, що кращі результати дає дресування з технологічним змащуванням. Застосування змащування (емульсії) дозволяє декілька понизити тиск на валки і, найголовніше, сприяє видаленню забруднень з поверхні штаб.

Іноді дресирування являється останньою технологічною операцією в цеху холодної прокатки.

В даний час значна кількість тонколистової сталі, випускається із захисними антикорозійними покриттями, в першу чергу – цинковим і полімерними. Нанесення цинкового покриття здійснюється методом занурення в розплав цинку (гаряче цинкування) або електролітичним методом. При гарячому цинкуванні товщина покриття досягає 50 мкм, при електролітичному – до 10 мкм.

До складу агрегату гарячого безперервного оцинкування (АГБЦ) входить різноманітне обладнання, на якому в єдиному комплексі виконуються різні механічні, фізико-хімічні і термічні операції: розмотування холоднокатаних рулонів, зварка кінців смуг, хімічне і електрохімічне очищення поверхні металу, термообробка (відпал або нормалізація), покриття цинком, пасивування цинкового покриття, дресирування (застосовується не завжди), змотування смуг в рулони або різка на листи. Оцинкування проводиться шляхом пропускання смуги через ванну з рідким цинком при температурі 450 °С. Товщина покриття регулюється віджимними роликami або струменями газу з регульованим тиском. Пасивування цинкового покриття здійснюється в розчині хромистого ангідриду  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  при 80-85 °С.

Швидкість проходження штаби через АГБЦ – до 4 м/с; продуктивність агрегатів – до 500 тис. т/год.

Один з поширених способів нанесення полімерних покриттів полягає в наклеюванні полімерної плівки на поверхню холоднокатаних штаб. Отримуваний матеріал називається металопластом. Як матеріал плівки часто використовується полівінілхлорид; товщина плівки 0,2-0,4 мм. Нанесення покриття здійснюється на агрегатах безперервної дії, на яких виконуються наступні основні операції: розмотування рулонів, зварювання кінців штаб, підготовка поверхні металу (знежирення, фосфатування, пасивація), нанесення клею на поверхню штаби валковим способом, підсушки клею, нанесення плівки

з притисненням його роликками, підігрів штаби з покриттям, тисненням узору, мотка штаб в рулони.

Плівки наклеюють зазвичай з одного боку штаби. Продуктивність лінії – до 100-120 тис. т/год.

### 1.3 Характеристика механічного устаткування цеху

Механічне обладнання цеху включає основне і допоміжне обладнання.

Основним обладнанням цеху холодної прокатки №1 являються:

прокатні стани (безперервний чотирьохкільтовий стан «1680» реверсивні «1680», «1200» і двадцятивалковий стан);

дресирувальні стани «1700-1» і «1700-

2»; методичні печі; травильні агрегати;

агрегати поперечного різання.

Технічна характеристика обладнання ЦХП-1 і його виробничі показники приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика обладнання ЦХП-1

№ п/п	Найменування обладнання	К-ть	Потужність двигуна, кВт, число обертів, хв <sup>-1</sup>	Продуктивність, т/ч
1	Безперервний травильний агрегат №1 (БТА-1)	1	P=1250, n=400	198,6
2	Безперервний травильний агрегат №2 (БТА-2)	1	P=1000, n=500	95,9
3	НШПС «1680»	1	P=5000, n=910	15,3
4	Реверсивний стан «1680»	1	P=1250, n=400	129,1
5	Реверсивний стан «1200»	1	P=1250, n=400	125,0



6	Дресирувальний стан «1700-1»	1	P=2 660 n=450-1200	82,8
7	Дресирувальний стан «1700-2»	1	P=1250 n=400-820	57,7
8	20-ти валковий стан	1	P=4500 n=400-600	50,5
9	Комбінований агрегат дресування, правки, різки КАДПР	1	P=1000, n=500	37,7
10	Агрегат поперечного різання АПР-1	1	P=190, n=1150	37,5
11	Агрегат поперечного різання АПР-2	1	P=160 n=1500-1800	34,6
12	Агрегат поперечного різання АПР-3	1	P=200, n=1250	28,9

Таблиця 1.2 – Виробничі показники агрегатів

Найменування агрегату	Розмір смуги	Вага рулону, т	Час такту, с	Питома вага даного профілю %	Годинна продуктивність, т/рік	Річний обсяг виробництва, т/рік
БТА-1	3,8 1400	15	372	20	165,1	989742,6
	3,5 1250	12,5	300	40	150	
	3,0 1000	10,5	315	40	120	
БТА-2	3,0 1250	12,5	333	20	135,1	684821,9
	2,7 1000	10,5	338	30	111,8	
	2,0 1000	10,5	473	50	79,9	
НШПС "1680"	1,8 1400	15	263	20	204,9	934167,6
	1,2 1250	12,5	330	60	136,3	
	0,7 1000	10,5	447	20	84,5	
Дрессир.	1,8 1400	15	405	20	133,3	605102,4

стан “1700-1”	1,2 1250	12,5	540	70	83,3	
	0,5 1000	10,5	816	10	46,3	
Дрессир. стан “1700-2”	1,8 1400	15	405	20	133,3	422169,2
	1,2 1250	12,5	540	30	83,3	
	0,5 1000	10,5	816	60	46,3	
АПР-1	1,8 1400	15	1080	40	50	258822
	1,2 1250	12,5	1080	40	41,6	
	0,5 1000	10,5	1224	20	30,8	
АПР-2	1,8 1400	15	1080	40	50	321553,8
	1,2 1250	12,5	1080	40	41,6	
	0,5 1000	10,5	1224	20	30,8	
АПР-3	1,8 1400	15	1080	30	50	259429,3
	1,2 1250	12,5	1080	30	41,6	
	0,5 1000	10,5	1224	70	30,8	

Все інше обладнання цеха, що не вказано вище, являється допоміжним.

#### 1.4. Визначення факторів що впливають на працездатність металургійного обладнання

Працездатність – стан об’єкта, при якому він здатний виконувати свої функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією.

Параметри технічного стану машини змінюються з часом її роботи. При цьому кожний параметр змінюється від *номінального* до *граничного*. Номінальне значення  $r_{ном}$  визначають функціональним призначенням машини (паспортними даними). Граничне  $r_{гр}$  – це найбільше або найменше значення, що може мати працездатна машина. Допустиме значення  $r_{пр}$  параметра – це те

значення, при якому машина після контролю зможе працювати ще один міжремонтний період.

Залежно від зміни параметра  $\rho$  від номінального до граничного змінюється і *характер відмови* машини. Розглянемо два випадки (рис. 1.1).

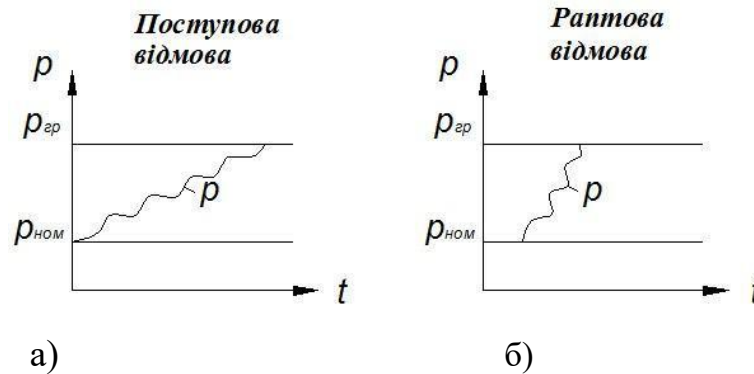


Рисунок 1.1 – Характер відмови машини: а) поступова; б) раптова

Поступова зміна параметрів від  $\rho_{\text{ном}}$  до  $\rho_{\text{гр}}$  призводить до поступової відмови. Наприклад зношення підшипників, шестерень та ін.

При раптовій зміні параметрів до  $\rho_{\text{гр}}$  відбувається раптова відмова машини (наприклад, тріщина, розрив )

Працездатність залежить від швидкості зміни параметрів технічного стану машини. Висока працездатність машини забезпечується поліпшенням її конструкції, фізико-механічних властивостей матеріалів і вузлів тертя. Для цього необхідно використовувати зносостійкі матеріали і високоякісні мастила, забезпечити точну обробку деталей вузлів, дотримуватися періодичності технічного обслуговування та ремонтів машини, а також якісного їх виконання. Це збільшує напрацювання машини між відмовами. Робота машини в заданому технічною документацією робочому режимі зменшує випадки її перевантаження.

Під дією механічних навантажень виникають різні внутрішні напруження і, як наслідок, деформації, тріщини і поломки деталей. Тріщини є результатом дії змінних навантажень. З часом вони збільшуються і це спричинює

руйнування деталі. Поломки відбуваються в найбільш неміцних місцях (переходи, різі, шпонки та ін.).

Зношування – це процес поступової зміни деталі під дією тертя.

Характер цього процесу визначається видом тертя, фізико-хімічними властивостями матеріалу, швидкістю відносного переміщення поверхонь тертя, величиною і характером навантаження, видом і якістю мастил, умовами експлуатації та ін.

При корозії відбувається зміна матеріалу під дією доквілля (повітря, рідини, газу, температури тощо). Метали при цьому змінюють свої властивості. Корозія

– це реакція, що відбувається на межі різних фазових середовищ.

У природі цей процес відбувається з виділенням енергії. Тому його можна лише призупинити (зупинити неможливо). Найбільш поширеною є електрохімічна корозія. Під її дією руйнуються поверхні транспортних машин (крила і кабіни автомобілів, тракторів та ін.).

### Причини втрати працездатності

Навіть за найдосконалішої конструкції та ретельного обслуговування фізичне спрацювання обладнання неминуче. Фізичне зношування можна розглядати як функцію від часу  $f(t)$ .

Основною причиною, яка призводить до втрати працездатності більшості машин, є зношення сполучених деталей. Стійкість матеріалу проти зношування залежить не лише від властивостей вибраного матеріалу, а й від технології виготовлення деталей, припрацювання їх у початковий період експлуатації та багатьох інших факторів.

На працездатність машини впливають усі види енергії: механічна, теплова, електромагнітна, хімічна та інші.

Механізм втрачання машиною працездатності досить складний і залежить від комплексу процесів, що відбуваються під час експлуатації машини. При цьому пошкодження деталей машин поділяють на допустимі і недопустимі.

Допустимі пошкодження виникають, як правило, за нормальних умов експлуатації машини. Це руйнування від зношування, утомлюваності і старіння матеріалу. Процесом старіння називають необоротну зміну властивостей або стану матеріалу виробу внаслідок дії різних факторів. Допустимі пошкодження усувають, як правило, під час планових ремонтів машин.

Недопустимі пошкодження мають аварійний характер, ці пошкодження або відмови виникають унаслідок недостатньої міцності матеріалу чи від утомлюваності. Це теплові тріщини, викришування частинок із поверхонь тертя тощо. Відмови деталей через недопустимі пошкодження усувають під час непланових ремонтів.

### Зношування

При контакті двох спряжених поверхонь деталей та їх відносному переміщенні в поверхневих шарах виникають механічні та молекулярні взаємодії, які призводять до руйнування поверхонь, тобто зношення. Зношення – це результат зношування. Під зношуванням розуміють процес відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла при терті.

Тертя – це опір, який виникає при взаємному переміщенні тіл, що стикаються. Відповідно до молекулярно-механічної теорії У. В. Крагельського і Б. В. Дерягіна тертя складається із двох опорів, з них перший – це результат механічної взаємодії, при якому виступи однієї поверхні потрапляють у западини іншої (фрикційний зв'язок), а другий – це наслідок молекулярної взаємодії поверхонь тертя.

Залежно від кінематики відносного переміщення тіл у машинах та механізмах відбуваються два види тертя: тертя ковзання і тертя кочення. На межі контакту деталей можуть відбуватися пружні та пластичні деформації і молекулярне зчеплення.

Залежно від наявності або відсутності мастила розрізняють такі види тертя

(рис. 1.2):

- а) сухе – виникає між поверхнями тертя за відсутності мастила;
- б) рідинне – виникає у випадку повного розділення поверхонь шаром мастила;
- в) граничне – поверхні тертя розділені тонким шаром рідини (не більше 0,1 мкм).

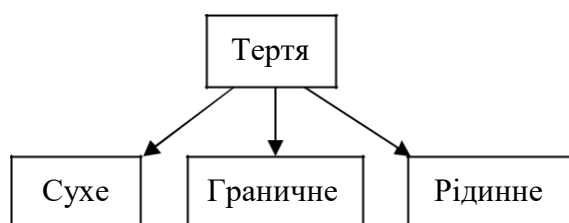


Рисунок 1.2 – Види тертя

Зношування у машинах поділяють на механічне, корозійно-механічне і зношування внаслідок дії електричного струму.

Механічне зношування – це зношування внаслідок механічної дії. Механічне зношування, в свою чергу, поділяють на абразивне, гідроабразивне, гідроерозійне та внаслідок утомлюваності.

Абразивне зношування – це механічне зношування матеріалу внаслідок різальної або дряпаючої дії твердих тіл чи частинок. Абразивні частинки можуть бути мінерального походження, металевими, продуктами окиснення поверхонь деталей та ін.

Основне джерело потрапляння абразивних частинок у сполучення машин – довкілля. Більшість частинок мають розмір 5–120 мкм, тобто співрозмірні із зазорами в сполученнях машин. Швидкість абразивного зношування залежить від кількості абразивних частинок та їх твердості.

Для зниження абразивного зношування твердість робочої поверхні деталі повинна бути в 1,3 раза вищою за твердість абразиву.

Різновидом абразивного є гідроабразивне зношування. Це абразивне зношування внаслідок дії твердих тіл або твердих частинок, що виносяться потоком рідини. Таке зношування характерне для гідравлічних машин і гідроприводів.

Ерозійне зношування внаслідок дії потоку рідини називається гідроерозійним. Ерозія металів – комплексний фізичний та фізико-хімічний процес, що відбувається внаслідок впливу докiлля, окиснення, наклепу, температурних напружень та від утомлюваності. Прикладом ерозійного зношування машин є зношування розподільників гiдравлічної апаратури.

Рiзновидом гiдроерозійного зношування є кавітаційне.

Зношування від утомлюваності – це механічне зношування внаслідок руйнування від утомлюваності при повторному деформуванні мікрооб'ємів поверхневого шару. Явище зношування від утомлюваності відбувається при терті кочення і терті ковзання. Основою цього виду зношування є утворення фрикційних зв'язків при прикладенні нормального навантаження в разі відносного ковзання поверхонь тертя.

Зношування від утомлюваності найчастіше спостерігається в умовах високих контактних навантажень при одночасному коченні та проковзуванні однієї поверхні по іншій. За таких умов працюють важко навантажені шестерні та підшипники кочення.

### Визначення та класифікація відмов

**Відмова** – це подія, що пов'язана із частковою або повною втратою працездатності машини. Для кожної машини ознаки відмови встановлюють нормативно-технічною документацією.

Деталі машин в основному руйнуються під дією силових навантажень, тепла та світла, електричних і магнітних полів, хімічного середовища, тертя та ін.

Під дією цих чинників відбувається зміна стану машини. У деталях машини відбуваються такі перетворення:

а) пластична деформація, що призводить до збільшення напруги в матеріалі деталей;

- б) утомлюваність у випадку, коли деталі зазнають статичних і циклічних навантажень (рами, вали, пружини та ін.);
- в) теплове руйнування, що відбувається під дією нагріву деталей, при яких змінюється структура матеріалу і вони втрачають свої початкові властивості (циліндри, поршні, вкладиші підшипників та ін.);
- г) хімічне (корозійне) руйнування – це руйнування матеріалів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії;
- д) зношування машини внаслідок тертя.

Відмови поділяють на декілька видів: за причинами виникнення, характером прояву, впливом на працездатність та ін. Розглянемо основні з них.

Відмови за причинами виникнення:

- а) конструкційні – зумовлені помилками при проектуванні, порушенням вимог державних стандартів, заниженням запасу міцності та ін.;
- б) виробничі – спричинені порушенням технології виготовлення, невиконанням вимог технічної документації, застосуванням неякісних матеріалів і т.п.;
- в) експлуатаційні – є наслідком порушень умов роботи машини, різних ушкоджень, невиконанням правил експлуатації, низької кваліфікації обслуговуючого персоналу, старінням машини та ін.

Відмови за характером прояву:

- а) раптові – характеризуються різкою зміною параметрів, руйнуванням елементів конструкції, втратою герметичності та ін.;
- б) поступові – є наслідком необоротних явищ, утомлюваності, зносу та ін.

Відмови за ступенем впливу на працездатність машини:

- а) повні – відбувається зрив параметрів машини;
- б) часткові – знижуються параметри машини (подача, напір, ККД).

Для машин, які виконують відповідальні функції або функції, пов'язані з життям людей, відмови поділяють на небезпечні та безпечні.



Крім того, за можливістю передбачування відмови поділяють прогнозовані і непрогнозовані.

Процеси, які впливають на працездатність машини

Під час роботи машини на неї діють різні збурення, що зумовлюють відхилення основних технічних параметрів і втрату працездатності.

На машину впливають усі види енергії і спричиняють в ній оборотні та необоротні процеси, що знижують її працездатність.

Оборотні процеси (пружні деформації вузлів та деталей машин, зміна температури, вологості та ін.) тимчасово змінюють параметри деталей і машин у межах, що не виходять за допустимі значення.

Необоротні (знос, корозія) призводять до прогресуючого зниження характеристик (параметрів) машини.

За швидкістю проходження всі процеси можна поділити на три групи:

а) швидкоплинні – мають періодичність зміни в межах циклу: вібрацію вузлів, зміну сил тертя в рухомих з'єднаннях та ін.;

б) середньої швидкості – спричиняють зміну початкових параметрів машини (залежать від температури навколишнього середовища і самої машини, зносу різального інструменту, вологості та ін.);

в) повільні – проходять за час роботи машини між її оглядами або ремонтами (їх тривалість – дні, місяці). До них належать зношування, корозія та ін. Ці процеси впливають на точність, ККД та інші параметри машини. Зміна параметрів відбувається дуже повільно.

Крім зовнішніх, на працездатність впливають і внутрішні процеси в машині. Всі вони мають випадковий характер.

Для створення методів розрахунку надійності машин застосовують моделі відмов, які базуються на різних уявленнях про виникнення і розвиток процесів, що призводять до відмови машин.

П'яти роликів правильна машина працює в важких виробничих умовах її вузли та деталі мають нормальне зношування, але виникають аварійні ситуації в наслідок яких трапляються поломки вузлів правильної машини. Наприклад в валки машини на повному ході потрапляє подвійна складка полоси в наслідок чого руйнуються підшипники, ламаються зуби зубчастих коліс приводу, скручуються шпинделі та інші поломки які призводять до аварійних простоїв агрегату та витрат на нові деталі. Проаналізувавши конструкцію вузлів п'яти роликів правильної машини, а також прийнявши до уваги вищесказане пропонується установка попереджувального заходу, а саме захисної муфти замість звичайної зубчастої муфти. У разі виникнення ситуації коли робочий момент на роликах перевищить розрахунковий момент приводу попереджувальна муфта припинить передачу крутного моменту до робочих роликів, таким чином уникнуть руйнування ключові деталі та вузли правильної машини.

## 2. Опис та розрахунки параметрів правильної машини

### 2.1 Опис правильної машини

П'ятироликів листоправильна машина встановлена в лінії агрегату поперекового різку №1 в цеху холодної прокатки №1 ПАТ «Запоріжсталь», та призначена для попереднього правлення слуги після розмотування її із рулону для подальшого різання. До правильної машини пред'являються високі вимоги до надійності та безвідмовності в експлуатації, довговічності, простоти технічного обслуговування та ремонту.

Технічна характеристика АПР-1:

Продуктивність агрегату	-100 т/год.
Матеріал полоси	- вуглецеві сталі
Зовнішній діаметр, мм	- до 1600
Внутрішній діаметр, мм	-750
Ширина смуги, мм	-710-1520
Товщина смуги, мм	-0,4-2,5
Швидкість руху смуги, м/с	-1-2,5
Параметри листів: довжина, мм	-500..3950
Ширина, мм	-850..1500
Вага пакету, т	-5
Швидкість руху листів, м/с	-1,2-3,6

Правку листового прокату здійснюють на валкових правильних машинах. Правлять переважно в холодному стані, оскільки при охолодженні після гарячої правки можливе викривлення заготовки. Конструкції правильних машин відрізняються особливостями, викликаними відмінністю лінійних параметрів. Правильні машини для листових заготовок. розрізняються числом валків і їх

розташуванням. У будь-якій правильній машині має бути непарне число валків. Найбільш поширені машини з числом валків від 3 до 13.

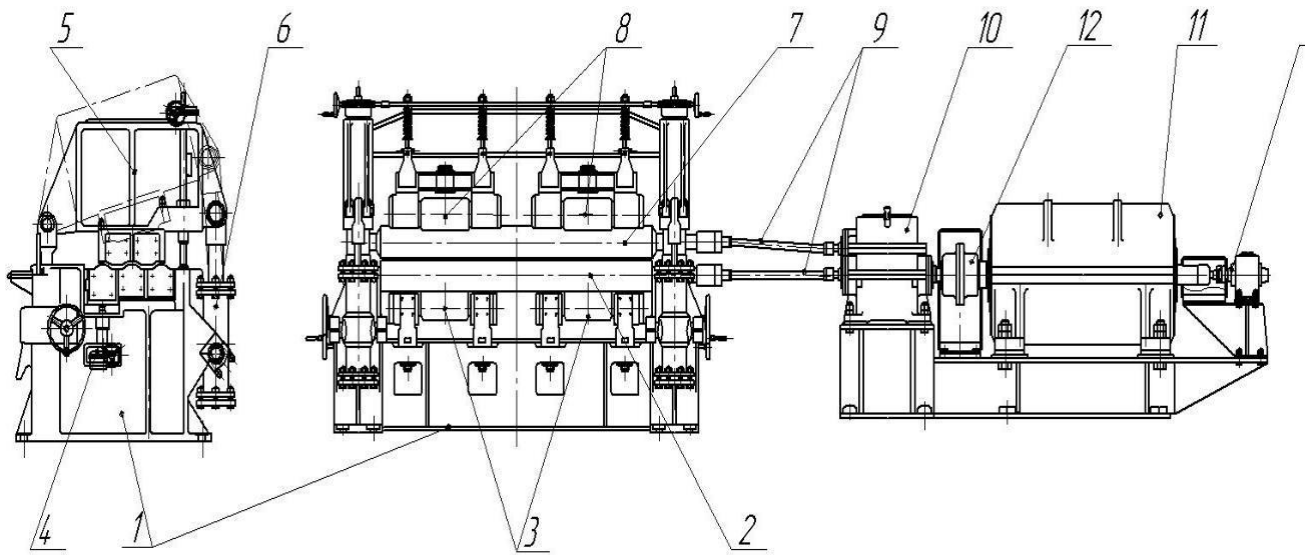


Рисунок 2.1 - Загальний вид правильної машини з приводом.

П'яти роликів правильна машина (Рисунок 2.1) з паралельними рядами роликів складається з нижньої (нерухомої) стани 1, встановленої на фундаменті, в якій розташовані нижні робочі (приводні) 2 та опорні ролики 3, а також механізм тонкого налаштування розчину між валками 4. Верхня станина 5, представлена у вигляді литої рами, яка шарнірно закріплена на нижній станині 1. Відкриття верхньої станини для завдання листа відбувається за допомогою гідроциліндрів 6. У верхній станині 5, закріплені робочі 7 і опорні ролики, встановлені в підшипниках ковзання 8. Приводні ролики 2,7 через карданні вали 9 сполучені з комбінованим редуктором приводу 10, який зв'язаний електродвигуном 11 зубчастою муфтою 13. Лінійна швидкість правки синхронізована з лінійними швидкостями всіх механізмів АПР-1, управління швидкістю реалізується за допомогою тахогенератора 13 із зворотним зв'язком по струму. Діаметр валків визначають по вимогах технології, тому їх жорсткість в більшості випадків недостатня. Для її збільшення в конструкції передбачені опорні ролики, що встановлюються в один або декілька рядів.

Змащення вузлів правильної машини пластичне здійснюється через живильники. Редуктор приводу має рідинну циркуляційну систему змащення.

П'яти роликів правильна машина працює в важких виробничих умовах її вузли та деталі мають нормальне зношування, але виникають аварійні ситуації в наслідок яких трапляються поломки вузлів правильної машини. Наприклад в валки машини на повному ході потрапляє подвійна складка полоси в наслідок чого руйнуються підшипники, ламаються зуби зубчастих коліс приводу, скручуються шпинделі та інші. поломки які призводять до аварійних простоїв агрегату та витрат на нові деталі. Проаналізувавши конструкцію вузлів п'яти роликів правильної машини, а також прийнявши до уваги вищесказане в дипломному проекті пропонується установка попереджувального заходу, а саме захисної муфти замість звичайної зубчастої муфти. У разі виникнення ситуації коли робочий момент на роликах перевищить розрахунковий момент приводу попереджувальна муфта припинить передачу крутного моменту до робочих роликів, таким чином уникнуть руйнування ключові деталі та вузли правильної машини.

## 2.2 Розрахунок робочої кліти п'ятироликової правильної машини

Початкові дані для розрахунку приведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Початкові дані

№	Найменування	Позначення	Величина	Розмірність
1	Товщина листів, що виправляються	$h$	0,35...2,5	мм
2	Ширина листів, що виправляються	$b$	710...1520	мм
3	Межа плину матеріалу штаби	$\sigma$	$300 \cdot 10^6$	Па
4	Швидкість правки		1...2,3	м/с
5	Діаметр роликів	$D$	150	мм
6	Крок між роликами	$t$	160	мм

Розрахункова схема 5 РПМ показана на рисунку 2.2.

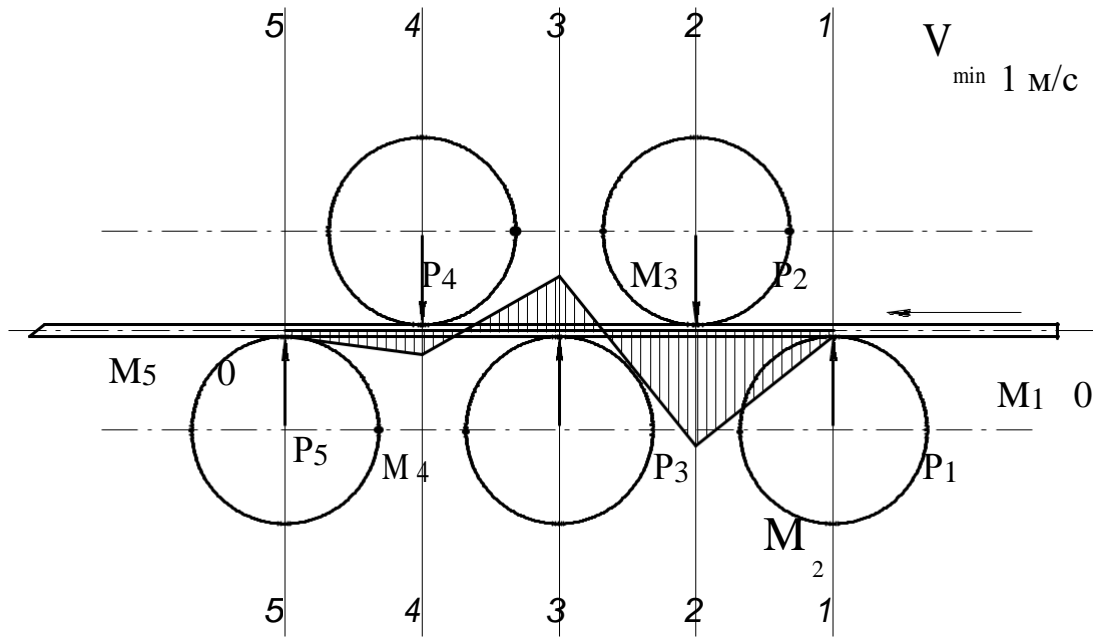


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку силових параметрів РМП

Для розрахунку приймаємо:  $h = h_{\max} = 2,5 \text{ мм}$  – максимальна товщина листів, що виправляються;  
 $v_{\min} = 2,3 \text{ м/с}$  – мінімальна швидкість правки;  
 $k_2 = 0,7$  – коефіцієнт проникнення пластичної деформації під другим роликом.

Сумарне зусилля на всі верхні і нижні ролики

$$P = \frac{8}{t} (M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5), \quad (2.1)$$

де  $t = 0,160 \text{ м}$  – крок між роликами;

$M_1 = M_5 = 0$  – моменти вигину 1-м і 5-м роликом;

$M_2 = M_3 = M_{\text{п}}$  – моменти пластичного вигину від 2-го і 3-го роликів;

$M_4 = M_{\text{уп}}$  – момент пружно-пластичного вигину від 4-го ролика.

Момент пластичного вигину визначимо по формулі

$$M_{\text{п}} = M_2 = M_3 = \tau b h^2 / 4, \quad (2.2)$$

де  $\sigma_{\text{п}} = 300 \text{ МПа}$  – межа плину матеріалу штаби;

$b = 1,520 \text{ м}$  – ширина листа, що виправляється;

$h = 2,5 \text{ мм}$  – товщина листа, що виправляється.

Підставивши значення в 3.2, отримаємо

$$M_{\text{п}} = M_2 = M_3 = 300 \cdot 10^6 \cdot 1,520 \cdot 2,5^2 / 24 = 14187,5 \text{ Нм.}$$

Момент пружно-пластичного вигину

$$M_{\text{уп}} = \frac{5}{24} \sigma_{\text{п}} b h^2. \quad (2.3)$$

Підставивши значення в 3.3 і 3.1 отримаємо

$$M_{\text{уп}} = \frac{5}{24} \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 1,520 \cdot 2,5^2 = 593,75 \text{ Нм.}$$

$$P = \frac{8}{0,160} \cdot 0,1425 \cdot 1425 \cdot 593,75 = 172187,5 \text{ Н.}$$

Визначимо момент тертя кочення роликів з урахуванням ковзання по штабі

$$M_{\text{тр.коч.}} = P m, \quad (2.4)$$

де  $m = 0,6 \text{ мм} = 0,0006 \text{ м}$  – коефіцієнт тертя кочення, з урахуванням можливого прослизання між роликами і смугою для сталевій штаби. Підставивши значення в 3.4, отримаємо

$$M_{\text{тр.коч.}} = 172187,5 \cdot 0,0006 = 103,3125 \text{ Нм.}$$

Момент тертя в підшипниках всіх роликів

$$M_{\text{тр.п.}} = P d / 2, \quad (2.5)$$

де  $0,005$  – коефіцієнт тертя в підшипникових опорах роликів (для роликів підшипників);

$d$   $0,0875$  м – середній діаметр підшипників.

Підставивши значення в 3.5, отримаємо

$$M_{\text{тр.п.}} = 172187,5 \cdot 0,005 \cdot 0,0875 = 75,3320 \text{ Нм}.$$

Потужність і момент правки штаби визначимо по формулі

$$N_{\text{деф}} = \frac{\tau^2 b h K_{\text{п}}}{2E}, \quad (2.6)$$

$$M_{\text{деф}} = \frac{N_{\text{деф}}}{\omega}, \quad (2.7)$$

де  $E = 2 \cdot 10^{11}$  МПа – модуль пружності матеріалу;

$K_{\text{п}} = 8$  – коефіцієнт пластичної деформації при правці штаби;

$\omega$  – кутова швидкість обертання роликів, с<sup>-1</sup>

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{v}{0,5 D}, \quad (2.8)$$

де  $v = 2,3$  м/с – швидкість правки штаби;  $D$

$0,15$  м – діаметр роликів.



Підставивши значення в 3.8, отримаємо

$$\frac{2,3}{0,5 \cdot 0,15} 30,6667 \text{ с}^{-1}.$$

Підставивши значення в 3.6, отримаємо

$$N_{\text{деф}} = \frac{300000000^2}{2 \cdot 200000000000} \cdot 1,520 \cdot 2,5 \cdot 2,3 \cdot 8 \cdot 15732 \text{ Вт.}$$

Підставивши значення в 3.7, отримаємо

$$M_{\text{деф}} = \frac{15732}{30,6667} 513 \text{ Нм}.$$

Загальний момент для обертання всіх роликів

$$M_{\text{кр}} + M_{\text{деф.}} + M_{\text{тр.п.}} + M_{\text{тр.кач.}}.$$

(2.9)

Підставивши значення в 3.9, отримаємо

$$M_{\text{кр}} = 513 + 75,3320 + 103,3125 + 691,6445 \text{ Нм.}$$

Визначимо необхідну потужність правки

$$N_{\text{пр.}} = M_{\text{кр}} \cdot \omega.$$

(2.10)

Підставивши значення в 3.10, отримаємо

$$N_{\text{пр.}} = 691,6445 \cdot 30,6667 = 22 \text{ кВт.}$$

Для приводу правильної машини по каталогу приймаємо ближчий по потужності електродвигун:

Тип	- 4ПН225М УХЛ4
Потужність	- P= 32 кВт
Швидкість обертання	-n= 750 1500 хв-1.

Редуктор з передаточним відношенням на кожен ролик 3,36; ККД приводу 0,80 .

## 2.3 Розрахунки найбільш навантажених вузлів та деталей на міцність, жорсткість і довговічність

Розрахунок кутових швидкостей, частоти обертання і крутних моментів приводу правильної машини

### 1) Швидкохідний вал $n_1$ редуктора комбінованого

Частота обертання

$$n_1 = n_{дв} \cdot \frac{30}{3,14} \cdot u_{p1} = \frac{30 \cdot 30,6667}{3,14} \cdot 3,36 = 985 \text{ об/хв} \quad (2.11)$$

де  $u_{p1}$  - передатне число I ступеня  $u_{p1} = 3,36$ .

Кутова швидкість

$$\omega_1 = \frac{n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 985}{30} \text{ рад/с} \quad (2.12)$$

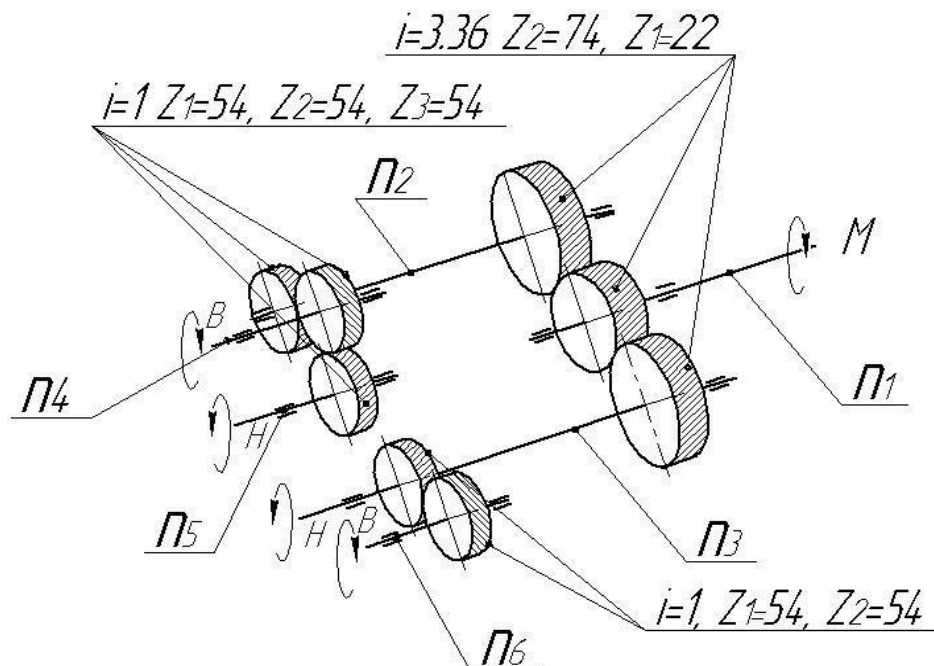


Рисунок 2.3- Кінематична схема комбінованого редуктора.

Крутний момент

$$M_{кр1} = \frac{9,55 N_{дв}}{n_1} = \frac{9,55 \cdot 22,1}{985} = 0,214 \text{кНм.} \quad (2.13)$$

2) Тихохідний вал  $n_1$  першого ступеня редуктора

Частота обертання

$$n_2 = \frac{n_1}{U_{p1}} = \frac{985}{3,36} = 293 \text{об/хв.} \quad (2.14)$$

Кутова швидкість:

$$\omega_2 = \frac{n_2}{3030} = \frac{3,14 \cdot 293}{30,66 \text{с}^{-1}} \quad (2.15)$$

Крутний момент

$$M_{кр2} = 0,5 M_{кр1} \cdot u_{p1} = 0,5 \cdot 0,214 \cdot 3,36 \cdot 0,95 = 0,342 \text{кНм,} \quad (2.16)$$

де  $u_1$  - К.К.Д. I ступеня редуктора - 0,95.

3) Тихохідний вал  $n_3$  другого ступеня редуктора:

$$u_{p2} = 3,36$$

Параметри валу  $n_3$  аналогічні параметрам валу  $n_2$ .

Частота обертання  $n_3 = 293 \text{об/хв.}$

Кутова швидкість  $\omega_3 = 30,66 \text{с}^{-1}$ .

4) Вал верхній ведений  $n_4$  третього ступеню редуктора

Частота обертання

$$n_4 = \frac{n_3}{2} = \frac{293}{2} = 146,5 \text{об/хв.} \quad (2.17)$$

Кутова швидкість

$$n_4 = n_3 = 30,66 \text{ с}^{-1}.$$

Крутний момент

$$M_{кр4} = M_{кр2} = U_{р3} = 3 \cdot 0,342 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,325 \text{ кНм}. \quad (2.18)$$

5) Вал нижній ведений  $n_5$  четвертому ступеню редуктора

Частота обертання

$$n_5 = \frac{n_4}{U_{р4}} = \frac{293}{1} = 293 \text{ об/хв}. \quad (2.19)$$

Кутова швидкість

$$n_5 = n_4 = 30,66 \text{ с}^{-1}.$$

Крутний момент

$$M_{кр5} = M_{кр4} = U_{р4} = 4 \cdot 0,325 \cdot 1 \cdot 0,95 = 0,309 \text{ кНм}. \quad (2.20)$$

б) Вал верхній ведений  $n_6$  п'ятого ступеню редуктора

Частота обертання

$$n_6 = \frac{n_3}{U_{р5}} = \frac{293}{1} = 293 \text{ об/хв}. \quad (2.21)$$

Кутова швидкість

$$n_6 = n_3 = 30,66 \text{ с}^{-1}.$$

## Крутний момент

$$M_{кр6} = M_{кр3} U_{p5} = 0,342 \cdot 1,095 = 0,325 \text{ кНм.} \quad (2.22)$$

## Геометричний розрахунок зачеплення швидкохідного ступеня редуктора

Число зубів шестерні	$-Z_1 = 22$
Число зубів колеса	$-Z_2 = 74$
Кут нахилу лінії зуба	$- \delta = 8,4750$
Модуль нормальний	$- m_n = 3,5 \text{ мм}$

## Окружний(торцевий) модуль

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \delta} = \frac{3,5}{\cos 8,4750} = \frac{3,5}{0,98824} = 3,5416 \text{ мм.} \quad (2.23)$$

## Ділильний діаметр

а) шестерні  $d_{ш} = m_t \cdot Z_1 = 3,5416 \cdot 22 = 77,91 \text{ мм}$

б) колеса  $d_k = m_t \cdot Z_2 = 3,5416 \cdot 74 = 262,07 \text{ мм}$

Міжосьова відстань I ступеня(II ступеня):

$$A = \frac{m_n}{2 \cos \delta} \left( \frac{Z_1}{\cos \delta} + \frac{Z_2}{\cos \delta} \right) = \frac{3,5}{2 \cdot 0,98824} \left( \frac{22}{0,98824} + \frac{74}{0,98824} \right) = 0,93839 \cdot 170 \text{ мм.} \quad (2.24)$$

де  $\text{tg } \delta = \frac{\text{tg } 20}{\cos 8,4750} = \frac{0,364}{0,98824} = 0,36833;$

$\delta = 20,13$  (кут профілю);  $\delta$

$20$  - кут зачеплення.

Діаметр вершин:

а) шестерні

$$d_{аш} = d_{ш} + 2 h_a^* x_1 m_n = 77,91 + 2 \cdot 1 \cdot 0,35 \cdot 84,91 \text{мм}. \quad (2.25)$$

де  $h_a^* = 1$  - коефіцієнт висоти голівки початкового контура;

$x_1 = 0$  - коефіцієнт корекції.

б) колеса

$$d_{ак} = d_{к} + 2 h_a^* x_2 m_n = 262,07 + 2 \cdot 1 \cdot 0,35 \cdot 269,07 \text{мм}. \quad (2.26)$$

Діаметр западин:

а) шестерні

$$d_{фш} = d_{ш} + 2 h_a^* c^* x_1 m_n, \quad (2.27)$$

де  $c^*$  - коефіцієнт радіального проміжку нормального початкового контура.

$$d_{фш} = 77,91 + 2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 0,35 \cdot 69,16 \text{мм}$$

б) колеса:

$$d_{фк} = d_{к} + 2 h_a^* c^* x_2 m_n = 266,07 + 2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 0,35 \cdot 253,32 \text{мм} \quad (2.28)$$

## 2.4 Розрахунок зусиль в зачепленні швидкохідного ступеня редуктора

Зачеплення є циліндричною косозубою передачею при паралельних валах. Косозуба передача плавніша і передає більшу потужність, ніж

прямозуба, при тих же розмірах. Недоліком косозубої передачі є додаткова осьова сила, що виникає в зачепленні, відсутня у прямозубих коліс.

При визначенні зусиль в зачепленні нехтуємо силами тертя, викликаними ковзанням профілів; розподілене навантаження замінюємо зосередженою силою, прикладеною в середині зубчастого вінця.

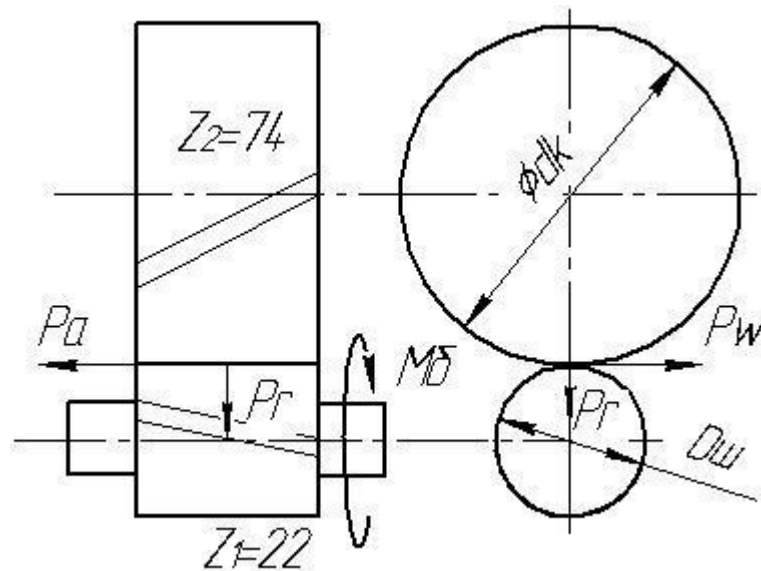


Рисунок 2.4- Складові нормального зусилля в зачепленні циліндричній косозубої передачі.

Окружне зусилля

$$P = \frac{2M_6}{d_{ш}}, \quad (2.29)$$

де  $M_6 = M_{кр1}$ ;

$d_{ш} = 77,91\text{мм}$  - діаметр ділильного кола шестерні.

Підставивши значення в 3.29, отримаємо

$$P = \frac{2 \cdot 0,214}{0,07791} = 5,49\text{кН.}$$

Радіальне зусилля

$$P_r = P_w \operatorname{tg} 5,49 = 0,364 \text{ кН}, \quad (2.30)$$

де  $20^\circ$  - кут зачеплення;

$$\operatorname{tg} 20^\circ = 0,364.$$

Осьове зусилля

$$P_a = P_w \operatorname{tg} 5,49 = 0,15481 \text{ кН}, \quad (2.31)$$

де  $84750$  ;

$$\operatorname{tg} 5,49 = 0,15481 \text{ кН}.$$

**Розрахунок швидкохідного валу  $n_1$  редуктора**

Переносимо силу  $P_w$  на вісь і урівноважуємо її моментом

$$M_b = M_{кр1} = P_w \cdot a = 5,49 \cdot 0,03896 = 0,214 \text{ кНм}, \quad (2.32)$$

де  $a$  - радіус ділильного кола шестерні:

$$a = \frac{d_{ш}}{2}; d_{ш} = 77,91 \text{ мм}; a = \frac{77,91}{2} = 38,96 \text{ мм} = 0,03896 \text{ м}.$$

Момент вигинає від осьової сили

$$M = P_a \cdot a = 0,15481 \cdot 0,03896 = 0,00603 \text{ кНм}. \quad (2.33)$$

Сила  $P$  є геометричною сумою сил  $P_w$  і  $P_r$



$$P = \sqrt{P_w^2 + P_r^2} = \sqrt{5,49^2 + 2^2} = 5,84 \text{ кН}. \quad (2.34)$$

Визначимо реакції в опорах

$$M_B = 0;$$

$$R_A = l_2 + l_3 \cdot P + l_3 \cdot M = 0. \quad (2.35)$$

З формули 3.35 визначимо реакцію

$$R_A = \frac{P \cdot l_3 + M}{l_2 + l_3} = \frac{5,84 \cdot 0,09 + 0,0331}{0,09 + 0,09} = 3,1 \text{ кН}. \quad (2.36)$$

З рівняння

$$R_A + P + R_B = 0. \quad (2.37)$$

$$R_B = P - R_A = 5,84 - 3,1 = 2,74 \text{ кН}.$$

Вигинаючий момент в небезпечному перерізі (max)

$$M_U = R_A \cdot l_2 = 3,1 \cdot 0,09 = 0,279 \text{ кНм}.$$

По теорії найбільшої дотичної напруги

$$M = M_u \cdot \sqrt{M_{кр1}^2 + 1} = 0,279 \sqrt{0,214^2 + 1} = 0,352 \text{ кН м}. \quad (2.38)$$

Напруга в небезпечному перерізі

$$\frac{Q}{F} + \frac{M}{W} = \frac{N}{F}, \quad (2.39)$$

$$\text{де } N = P_a = 0,85 \text{ кН};$$

F - площа поперечного перерізу

$$F = \frac{d_{BH}^2}{4} \frac{3,14 \cdot 0,06916^2}{4} = 0,00375 \text{ м}^2 \quad (2.40)$$

W - момент опору вигину  $W = 0,1 d_{BH}^3 = 0,1 \cdot 0,06916^3 = 0,0000331 \text{ м}^3$ .

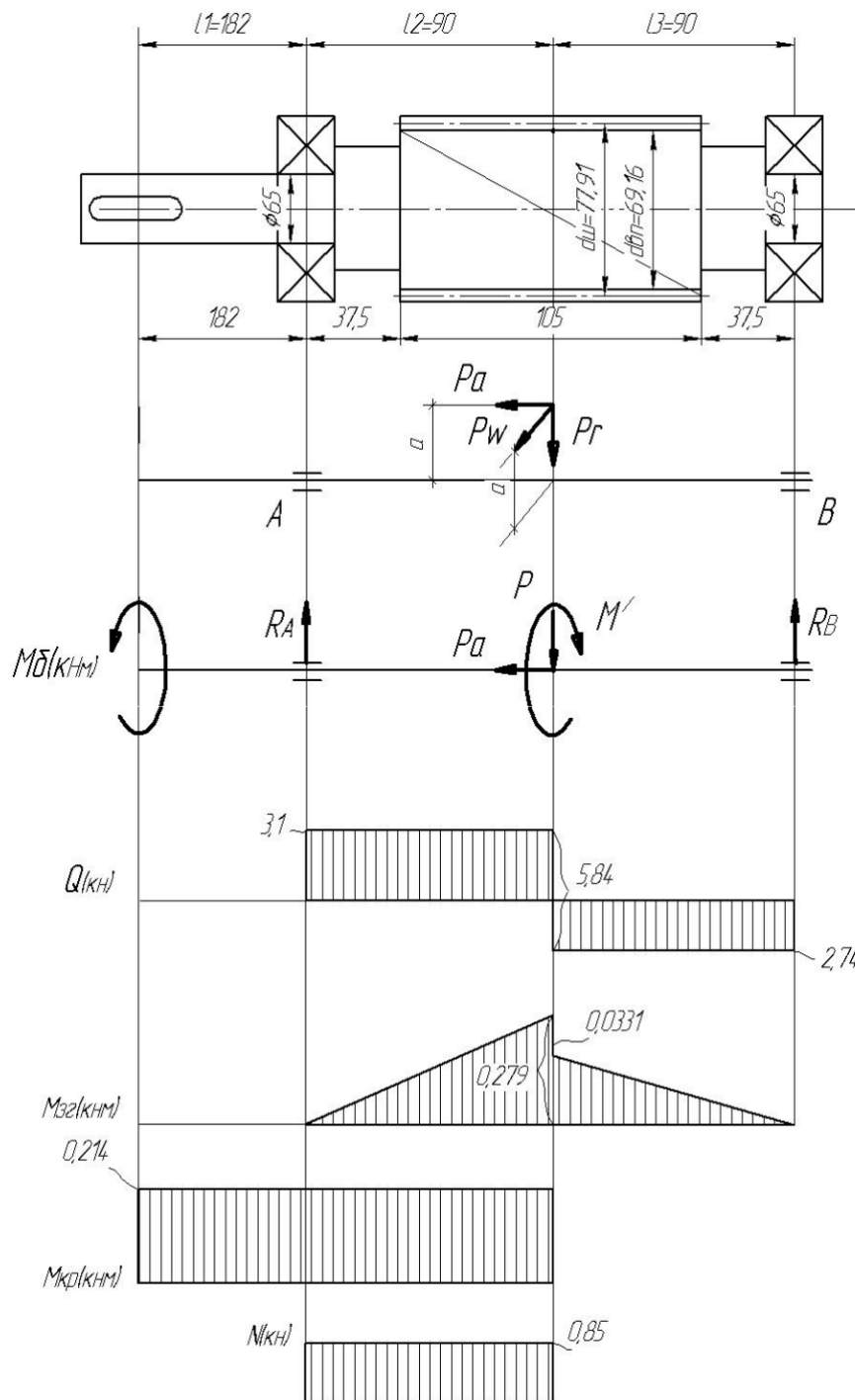


Рисунок 2.5- Схема вантаження швидкохідного валу

Підставивши значення в 3.39, отримаємо

$$\frac{5,84}{0,00375} \quad \frac{0,352}{0,0000331} \quad \frac{0,85}{0,00375} \quad 12418 \text{кН м}^2 / 12,42 \text{МПа}_u$$

Вал виготовлений із сталі 40ХН напруга вигину якої  $\sigma_u$  490МПа  
HRC48...52

Висновок: розміри швидкохідного валу, матеріал і термообробка задовольняють умові міцності.

### Розрахунок підшипників валу $n_1$ редуктора

Вал встановлений на 2-х роликівих конічних однорідних підшипниках  
7513 ГОСТ 333-71

$d$  65мм;  $D$  120мм;  $B$  32,75мм

Динамічна вантажопідйомність	-C 109кН
Статична вантажопідйомність	- $C_0$ 98,9кН
Гранична частота обертання	- $n_{пр}$ 4000 об/хв
Радіальне навантаження $m_{ax}$ на 1 підшипник	- $R_A$ 3,1кН

$n_6$  - число обертів швидкохідного валу редуктора

$$n_6 = 985 \text{об/хв} < n_{пр} = 4000 \text{об/хв}$$

Номінальна довговічність підшипника в мільйонах обертів

$$L = \frac{C}{P}, \quad (2.50)$$

де  $C$  109кН;

$\frac{10}{3}$  (для роликівих підшипників); 3

$P$  - еквівалентне динамічне навантаження.

$$P \times V R_A K K_T, \quad (2.51)$$

де  $x = 0,43$  - коефіцієнт радіального навантаження;

$V = 1,2$  - коефіцієнт обертання;

$K = 1,2$ ; - коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1,05$ . - температурний коефіцієнт.

Підставивши значення в 3.51, отримаємо

$$P = 0,43 \cdot 1,2 \cdot 3,1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 2,015 \text{кН.}$$

Підставивши значення в 3.29, отримаємо

$$L = \frac{109}{2,015} \cdot \frac{10^5}{5,2} \cdot 10^5 \text{обертів}$$

Довговічність підшипника в годинах

$$L_h = \frac{10^6 L}{60 n} = \frac{10^6 \cdot 5,2 \cdot 10^5}{60 \cdot 985} = 8,8 \cdot 10^6 \text{ годин.} \quad (2.52)$$

**Геометричний розрахунок зачеплення валів  $n_3$  і  $n_6$  V ступеня редуктора**

Число зубів шестерні	- $Z_3 = 37$
Число зубів колеса	- $Z_4 = 37$
Кут нахилу лінії зуба	- $\alpha = 20^\circ$
Модуль нормальний	- $m_n = 4 \text{мм}$

Окружний (торцевий) модуль

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \alpha_t} = \frac{4}{\cos 9^\circ 24' 20''} = \frac{4}{0,98657} = 4,0545 \text{ мм.} \quad (2.53)$$

Ділильний діаметр:

а) шестерні

$$d_{ш} = m_t \cdot Z_3 = 4,0545 \cdot 37 = 150 \text{ мм.} \quad (2.54)$$

б) колеса

$$d_k = m_t \cdot Z_4 = 4,0545 \cdot 37 = 150 \text{ мм.} \quad (2.55)$$

Міжосьова відстань V ступню

$$A = \frac{m_n \cdot Z_3 + Z_4}{2 \cos \alpha_t} = \frac{43737}{2 \cdot 0,98657} = \frac{0,93819}{0,93969} \cdot 150 \text{ мм,} \quad (2.56)$$

$$\text{де } \tan \alpha_t = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 9^\circ 24' 20''} = \frac{0,364}{0,98657} = 0,36896;$$

$\alpha_t = 20^\circ 15'$  - (кут профілю);  $\alpha_t$

$20^\circ$  - кут зачеплення.

Діаметр вершин:

а) шестерні

$$d_{аш} = d_{ш} + 2 \cdot h_a^* + x_1 \cdot m_n = 150 + 2 \cdot 1 + 0 \cdot 4 = 158 \text{ мм,} \quad (2.57)$$

де  $h_a^* = 1$  - коефіцієнт висоти голівки початкового контура;

$x_1 = 0$  - коефіцієнт корекції;

б) колеса

$$d_{ак} = d_k + 2 h_a^* x_2 m_n = 150 + 2 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 158 \text{ мм}, \quad (2.58)$$

де  $x_2 = 0$ .

Діаметр западин:

а) шестерні

$$d_{фш} = d_{ш} + 2 h_a^* c^* x_1 m_n = 150 + 2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 140 \text{ мм},$$

де  $c^*$  - коефіцієнт радіального проміжку нормального початкового контура.

б) колеса:

$$d_{fk} = d_k + 2 h_a^* c^* x_2 m_n = 150 + 2 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 140 \text{ мм}.$$

### Розрахунок зусиль в зачепленні тихохідного V ступеня редуктора

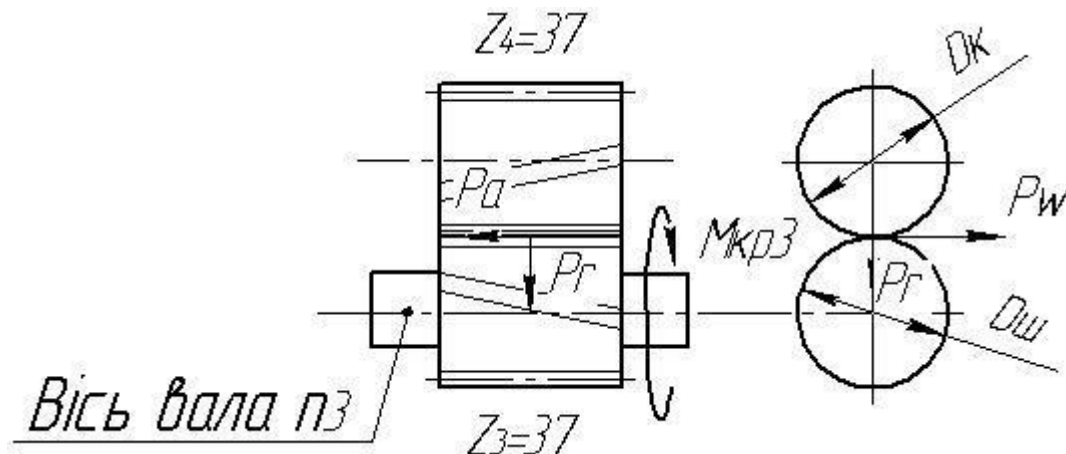


Рисунок 2.6 Складові нормального зусилля в зачепленні циліндричній косозубої передачі

При визначенні зусиль в зачепленні нехтуємо силами тертя, викликаними ковзанням профілів; розподілене навантаження замінюємо зосередженою силою, прикладеною в середині зубчастого вінця.

Окружне зусилля

$$P_w = \frac{2M_{кр3}}{d_{ш}}$$

де  $M_{кр3} = 0,342 \text{ кН м}$ .

$d_{ш} = 150 \text{ мм}$  - діаметр ділильного кола шестерні.

Підставивши значення в 3.59, отримаємо

$$2 \cdot 0,342$$

$$P_w = \frac{\quad}{150} = 4,56 \text{ кН}.$$

Радіальне зусилля

$$P_r = P_w \cdot \text{tg} 20 = 4,56 \cdot 0,364 = 1,66 \text{ кН},$$

де  $20$  - кут зачеплення;

$$\text{tg} 20 = 0,364.$$

Осьове зусилля

$$P_a = P_w \cdot \text{tg} 92420 = 4,56 \cdot 0,16555 = 0,75 \text{ кН},$$

де  $92420$  ;

$$\text{tg} 92420 = 0,15481 \text{ кН}.$$

### 3.3.5 Розрахунок тихохідного валу $n_3$ редуктора

З подібності трикутників визначимо  $C$

$$\frac{0,237}{0,288} = \frac{240 \cdot C}{C}$$

Звідки  $C = 132 \text{ мм}$

Тоді :

$$M = \frac{0,288 \cdot 0,082}{1} = 0,179 \text{ кНм}$$

(2.59)

(2.60)

(2.61)



Переносимо силу  $P_w$  на вісь і урівноважуємо її моментом

$$M_{крз} = P_w \cdot b = 4,56 \cdot 0,075 = 0,342 \text{ кН м}, \quad (2.62)$$

де  $b$  - радіус ділильного кола шестерні

$$b = \frac{d}{2}; \quad d = 150 \text{ мм};$$

$$150$$

$$b = \frac{150}{2} = 75 \text{ мм} = 0,075 \text{ м}.$$

Вигинаючий момент від осьової сили

$$M_{Pa} = P_a \cdot b = 0,75 \cdot 0,075 = 0,0563 \text{ кН м}.$$

Сила  $P$  є геометричною сумою сил  $P_w$  і  $P_r$

$$P = \sqrt{P_w^2 + P_r^2} = \sqrt{4,56^2 + 1,66^2} = 4,85 \text{ кН}. \quad (2.63)$$

Визначимо реакції в опорах

$$M_B = 0,$$

$R_A$

$$\begin{array}{ccc} l_2 & l_3 & l_4 \\ M & P & l_3 \\ l_4 & P l_4 & M \\ & & 0. \end{array}$$

$$R_A = 0,068 \quad 0,240 \quad 0,088 \quad 0,0563 \quad 4,85 \quad 0,240 \quad 0,088 \quad 5,84 \quad 0,088 \quad 0,0331 \quad 0$$

$$R_A = \frac{0,0563 \cdot 1,59 + 0,514 \cdot 0,0331}{0,396} = 2,66 \text{ кН}.$$

$$F_x = 0;$$

$$R_B = R_A - P - P = 2,66 - 4,85 - 5,84 = -3,65 \text{ кН}$$

Згинаючий момент в перерізі I

$$M_A = R_A \cdot l_2 = 2,66 \cdot 0,068 = 0,181 \text{ кНм}$$

Згинаючий момент в перерізі II

$$M_B = R_B \cdot l_4 = 3,65 \cdot 0,088 = 0,321 \text{ кНм}$$

Результуюча осьова сила

$$N_A = P_a - P_a = 0,85 - 0,75 = 0,1 \text{ кН}$$

Небезпечним перерізом, як видно з епюр, є переріз II, оскільки в нім поперечні сили, згинаючий та крутний моменти, а так само осьова сила максимальні. Проте, враховуючи велику різницю в діаметрах, що розраховуються, можна припустити, що переріз III знаходиться в найбільш гірших умовах, і тому розрахунок напруги проведемо по перерізу III.

По теорії найбільшої дотичної напруги

$$\sigma_{\max} = \sqrt{M_{\text{кр}}^2 + N^2} = \sqrt{0,179^2 + 0,342^2} = 0,386 \text{ кН/м} \quad (2.64)$$

Напруга в перерізі III

$$\sigma = \frac{Q}{F} + \frac{M}{W} + \frac{N}{F} \quad (2.65)$$

де  $F$  - площа поперечного перерізу

$$F = \frac{d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,00502 \text{ м}^2 .$$

$W$  - момент опору вигину

$$W = 0,1 d^3 = 0,1 \cdot 0,08^3 = 0,0000512 \text{ м}^3$$

Підставивши значення в 3.65, отримаємо

$$\frac{2,19}{0,00502} \cdot \frac{0,386}{0,0000512} \cdot \frac{0,1}{0,00502} = 7995 \text{ кН м}^2 < 8 \text{ МПа} < \sigma_u$$

Вал виготовлений із сталі 40ХН допускаєма напруга вигину,  $\sigma_u = 320 \text{ МПа}$ .

Висновок: розміри титходного валу  $n_3$ , матеріал і термообробка задовольняють умові міцності.

Напруга в перерізі III

$$\frac{Q}{F} \cdot \frac{M}{W} \cdot \frac{N}{F} = \sigma_u , \quad (2.65)$$

де  $F$  - площа поперечного перерізу

$$F = \frac{d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 0,00502 \text{ м}^2$$

$W$  - момент опору вигину

$$W \ 0,1 \text{ d}^3 \quad 0,1 \ 0,08^3 \quad 0,0000512 \text{ M}^3$$

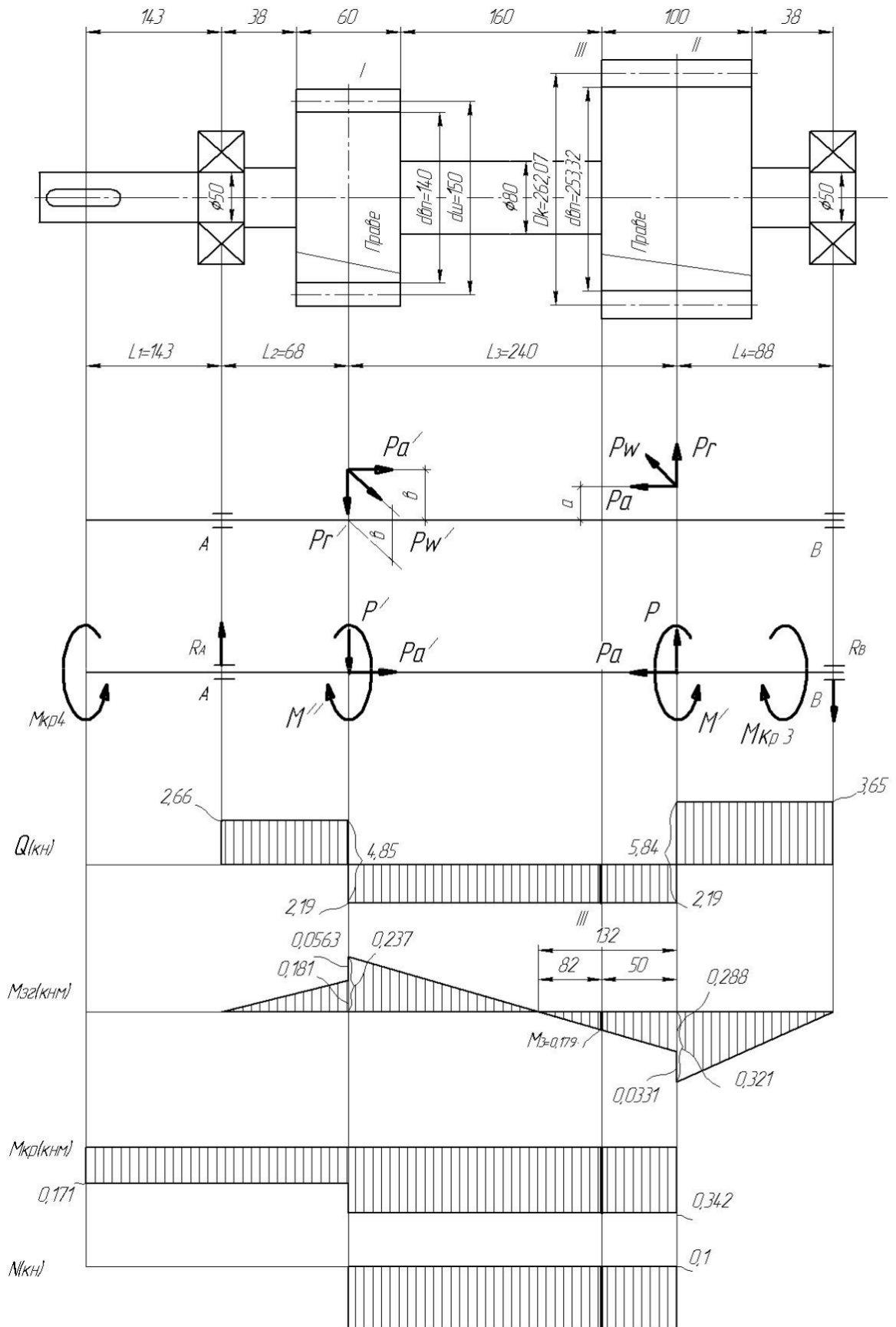


Рисунок 2.7 Схема вантаження тихохідного валу п 3

Підставивши значення в 2.65, отримаємо

$$\frac{2,19}{0,00502} \frac{0,386}{0,0000512} \frac{0,1}{0,00502} 7995 \text{кН м}^2 \quad 8 \text{МПа} < \sigma$$

Вал виготовлений із сталі 40ХН допускаєма напруга вигину,  $\sigma$  320МПа .

Висновок: розміри тихоходного валу  $n_3$  , матеріал і термообробка задовольняють умові міцності.

### Розрахунок підшипників валу $n_3$ редуктора

Вал встановлений на 2-х роликкових конічних однорідних підшипниках 7510 ГОСТ 333-71:  $d$  50мм;  $D$  110мм;  $T$  24,75мм

Динамічна вантажопідйомність	-С 59,8кН
Статична вантажопідйомність	-С <sub>0</sub> 54,5кН
Гранична частота обертання	- $n_{пр}$ 4000хв <sup>-1</sup>
Радіальне навантаження $m_{ax}$ на 1 підшипник	-R <sub>B</sub> 3,65кН
$n_3$ - число обертів тихохідного валу редуктора	

$$n_3 293 \text{хв}^{-1} < n_{пр} 4000 \text{хв}^{-1}$$

Номінальна довговічність підшипника в мільйонах обертів

$$L = \frac{C}{P}, \quad (2.66)$$

де С 59,8кН ;

$\frac{10}{3}$  (для роликів підшипників)

$P$  - еквівалентне динамічне навантаження

$$P \times V \times R_B \times K \times K_T, \quad (2.67)$$

де  $x = 0,43$  - коефіцієнт радіального навантаження;

$V = 1,2$ ; - коефіцієнт обертання;

$K = 1,2$ ; - коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1,05$ . - температурний коефіцієнт.

Підставивши значення в 3.67, отримаємо

$$P = 0,43 \times 1,2 \times 3,65 \times 1,2 \times 1,05 = 2,373 \text{ кН}.$$

Підставивши значення в 3.66, отримаємо

$$L = \frac{59,8 \times \frac{10}{3}}{2,373} = 4,2 \times 10^6 \text{ об.}$$

Довговічність підшипника в годинах

$$L_h = \frac{10^6 \times L}{60 \times n} = \frac{10^6 \times 4,2 \times 10^4}{60 \times 293} = 2,4 \times 10^6 \text{ год.}$$

### 3 Дослідження роботи шпонкового з'єднання в умовах циклічних навантажень

Шпонка – це сполучна деталь рознімного з'єднання, яка призначена для передачі обертального моменту між валом та насадженим на нього колесом, і забезпечує їхнє одночасне обертання.

Шпонкові з'єднання поділяють на дві групи:

- напружені, які здійснюються клиновими шпонками;
- ненапружені, в яких застосовують призматичні або сегментні шпонки.

Проміжне положення займають з'єднання циліндричними і шестигранними шпонками. Розміри шпонок всіх основних типів вибирають за стандартом, залежно від величини діаметра вала у перетині під шпонку. Матеріал для виготовлення шпонок – конструкційні вуглецеві сталі 45, 50, Ст.5, Ст.6 тощо.

Перевага з'єднань клиновими шпонками – відсутність зазорів, тому добре сприймають ударні навантаження. Сегментні шпонки мають стійке положення на валу, що виключає її перекошування, однак вал зазнає значного послаблення пазом.

Розміри та конструкції шпонок стандартизовані. За конструкцією шпонки розділяють на призматичні (рис. 1, а), сегментні (рис.3.1, б) і клинові (рис.3.1, в).

Найпоширенішими є призматичні [16-20] і сегментні шпонки [16, 19]. Виготовляють ці шпонки із спеціальної чистотягнутої шпонкової сталі (ГОСТ 8786-68 і ГОСТ 8787-68), переріз якої являє собою прямокутник (для призматичних шпонок) або сегмент (для сегментних шпонок) із фасками на ребрах.

З'єднання вала з колесом (втулкою) за допомогою шпонки відбувається в такий спосіб: шпонка торцями закладається в паз (канавку) вала. Виступаючу над валом частину шпонки охоплює шпонковий паз, виконаний у маточині колеса. Цей паз виконують на всю довжину маточини. Між верхньою неробочою гранню шпонки (призматичної або сегментної) і гранню паза

маточини повинен залишатися невеликий зазор, регламентований стандартом. Глибина й ширина пазів також визначається стандартом і залежить від діаметра вала.

В умовній позначці призматичних шпонок указують: вид виконання (2, або 3, виконання 1 не вказують); розміри перерізу ( $b \times h$ ); довжину шпонки  $l$ , номер стандарту.

Наприклад, шпонка виконання 2 шириною  $b=18$  мм, висотою  $h=11$  мм, довжиною  $l=100$  мм, має позначення "Шпонка 2-18×11×100 ГОСТ 23360-78".

В умовній позначці сегментних шпонок указують: розміри перерізу ( $b \times h$ ), номер стандарту.

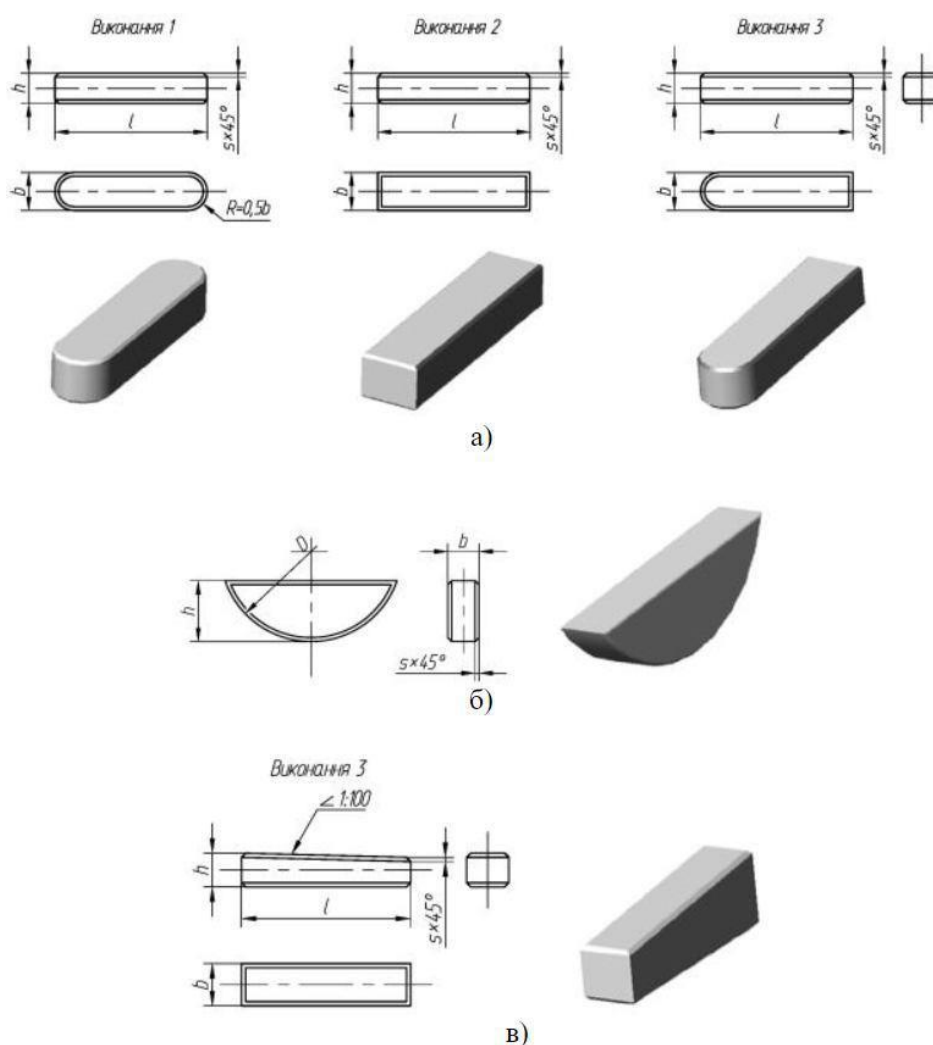
Наприклад, шпонка шириною  $b=6$  мм і висотою  $h=10$  мм, позначається "Шпонка 6×10 ГОСТ 24071-80. Щоб виконати креслення шпонкового з'єднання, досить знати діаметр вала  $d$  і довжину маточини колеса. Розміри шпонок та елементів з'єднань стандартизовані:

—для призматичних шпонок - ширина  $b$ , висота  $h$ , глибина паза на валу  $t1$ , глибина паза в отворі  $t2$  (у маточині колеса), ГОСТ 23360-78 (рис. 3, а, та додаток 1. 1). Довжина призматичної шпонки  $l$  приймається меншою, ніж довжина маточини колеса  $L2$  на 2...3 мм при діаметрі вала до 30 мм, і на 5...6 мм - при діаметрі вала понад 30 мм (рис 3, а). Шпонка встановлюється посередині маточини колеса (втулки). Отриманий розмір  $l$  приймається рівним найближчому стандартному значенню .

—для сегментних шпонок - ширина  $b$ , висота  $h$ , діаметр  $D$  (діаметр сегментного профілю або циліндричного прокату, з якого виготовляють шпонки), глибина паза на валу  $t1$ , глибина паза в отворі  $t2$  (у маточині колеса), ГОСТ 24071-80.

Для всіх видів шпонок ці розміри вибираються залежно від діаметра вала.



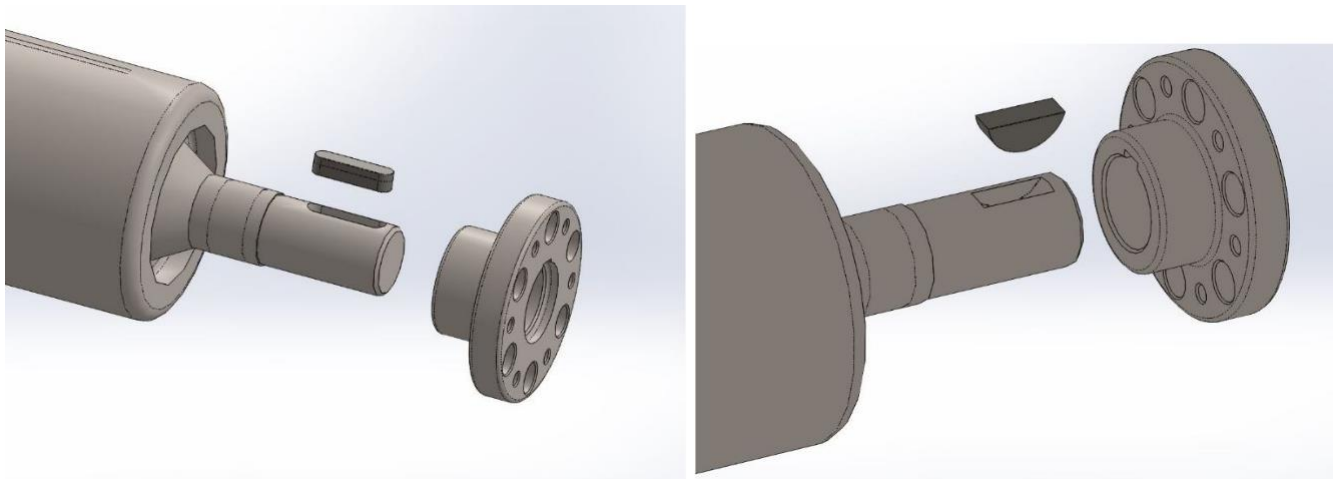


а- призматична; б – сегментна; в – клинова.

Рисунок 3.1. Типи шпонок

Для запобігання поломкам та збільшення терміну перебування машини у працездатному стані, зі скороченим терміном відновлюваного ремонту, в правильній машині використовують шпонкові з'єднання. Для аналізу моделі шпонкового з'єднання в робочих умовах доцільно використати комп'ютерну програму тривимірного моделювання SolidWorks та її модуль Simulation. Це дозволить спрогнозувати працездатність з'єднання при реальних навантаженнях, а головне, допоможе знизити масу виробів без втрати міцності.

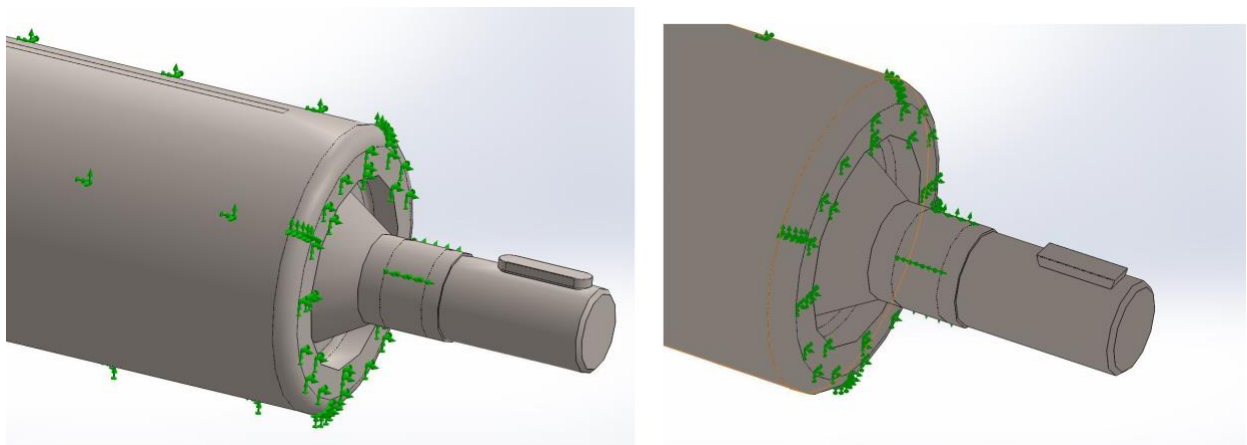
Для моделювання застосовувалось шпонкове з'єднання двох типів, а саме призматичні та сегментні шпонки.



а

б

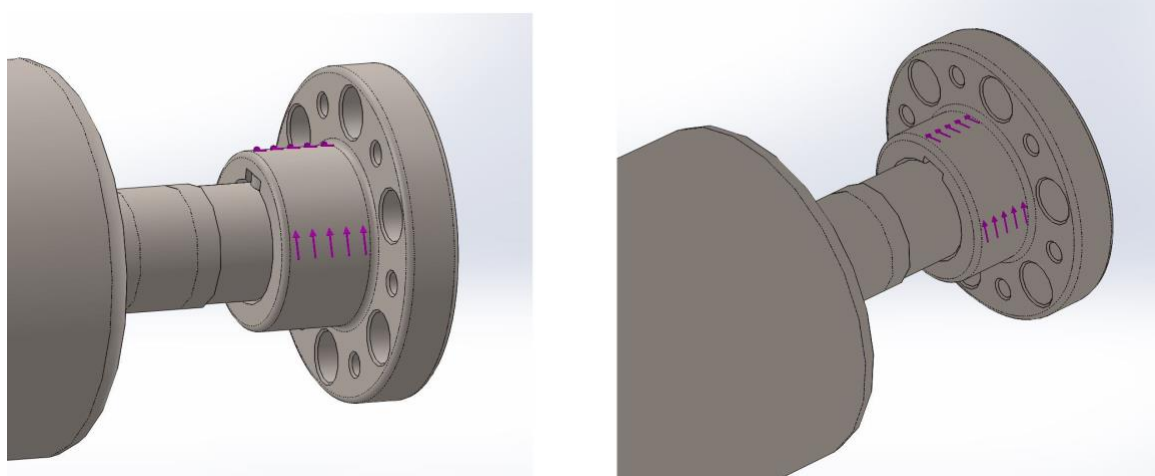
а - з'єднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою  
Рисунок 3.2 Об'ємна твердотільна модель шпонкового з'єднання



а

б

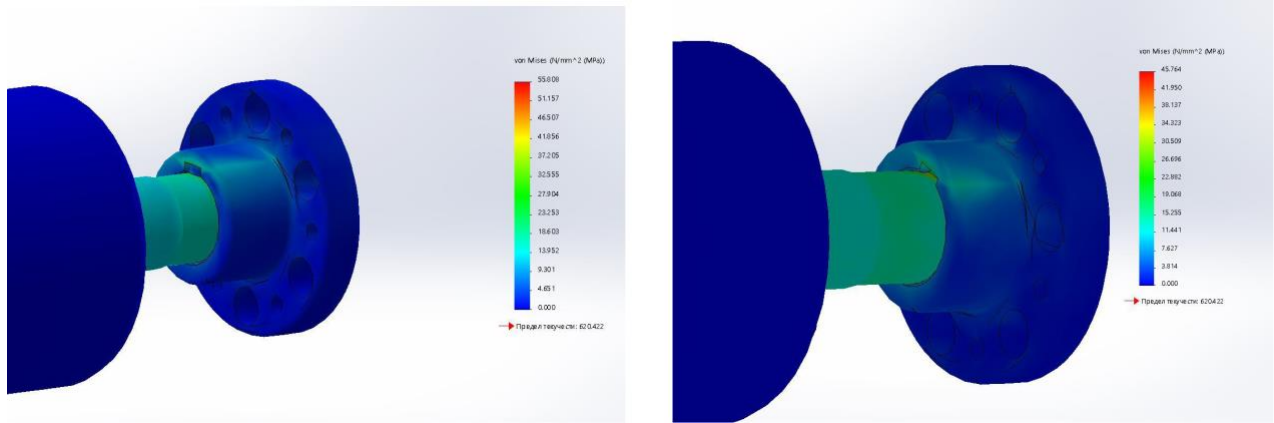
а - з'єднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою  
Рисунок 3.3 Зони фіксації та навантаження, що діють на елементи шпонкового з'єднання



а

б

а - з'єднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою  
Рисунок 3.4 Зони навантаження крутним моментом шпонкового з'єднання

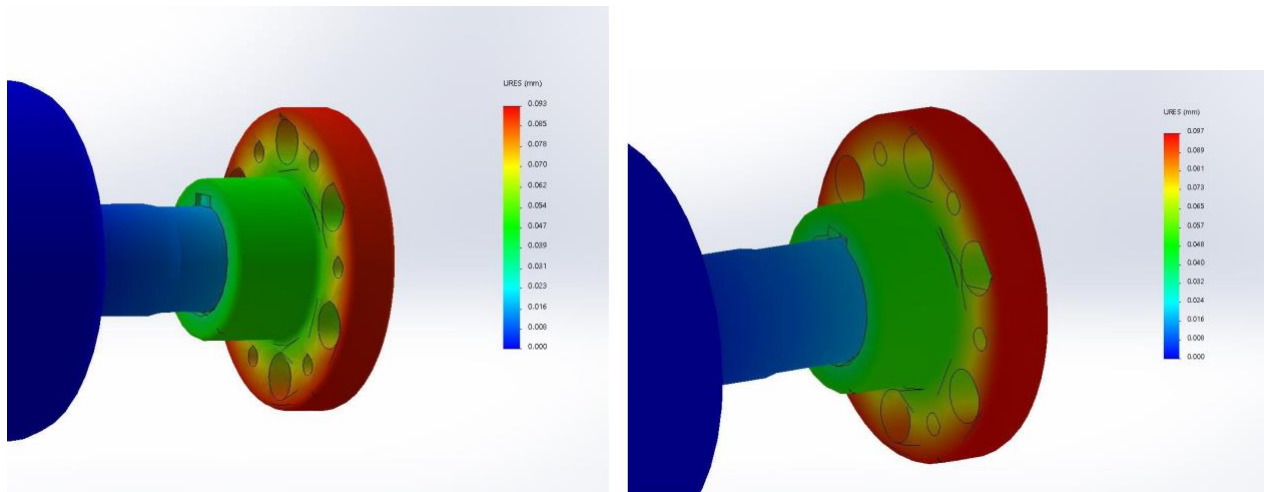


а

б

а - з'єднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою  
Рисунок 3.5 Епюри розподілу напружень моделі шпонкового з'єднання

У першому випадку максимальні напруження складають  $55,8 \text{ N/mm}^2$ , у другому  $45,8 \text{ N/mm}^2$ .

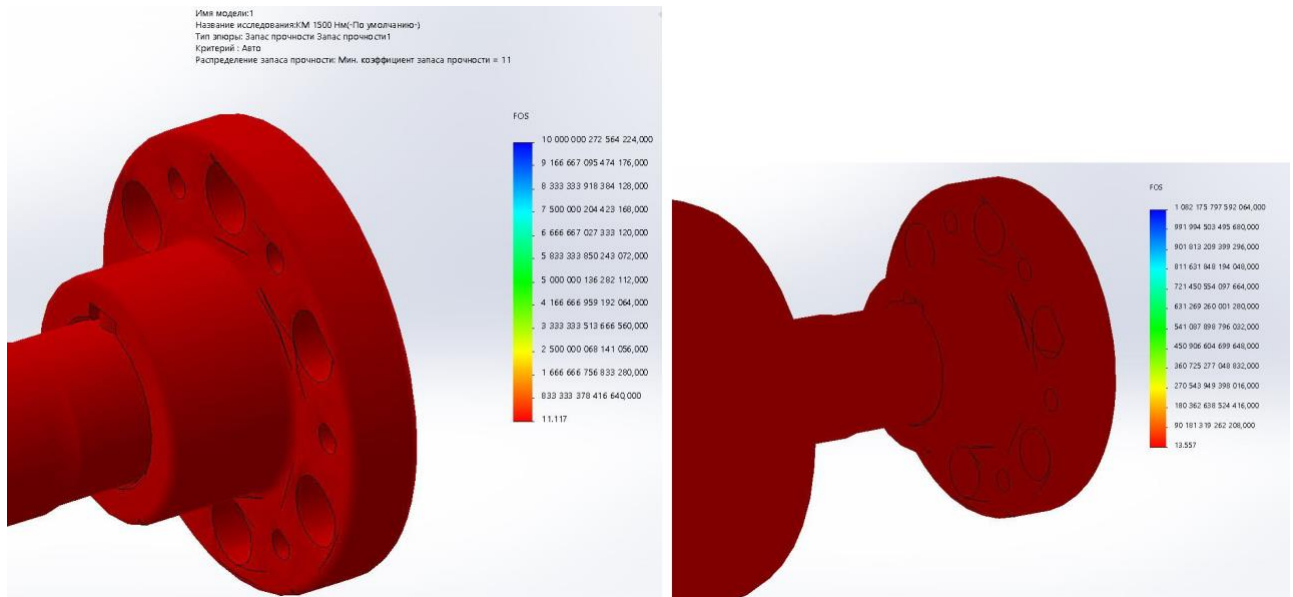


а

б

а - з'єднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою  
Рисунок 3.6 Епюри розподілу переміщень шпонкового з'єднання

У першому випадку максимальні переміщення складають  $0,093 \text{ мм}$ , у другому  $0,097 \text{ мм}$ , що пов'язано з більшим послабленням валу сегментною шпонкою.

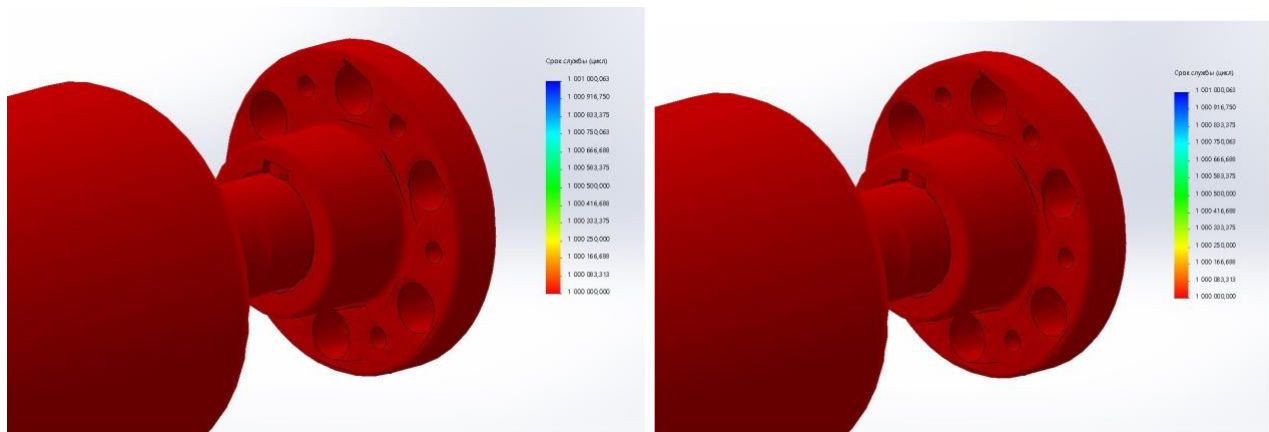


а

б

а - з'єднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою Рисунок 3.7 Епюри запасу міцності шпонкового з'єднання

У першому випадку мінімальний коефіцієнт запасу міцності складає 11,11, у другому 13,56.



а

б

а - зєднання призматичною шпонкою, б- з'єднання сегментною шпонкою

Рисунок 3.8 Епюри втоми шпонкового з'єднання

Дослідження на втому матеріалу при впливі крутного моменту з числом циклів 1000000 до пошкодження шпонки не привели.

Дослідження показали, що в умовах роботи правильної машини застосування призматичних та сегментних шпонок стандартної форми не

призводить до порушення умов експлуатації обладнання. Особливістю застосування сегментних шпонки є більш стійке положення на валу, що виключає її перекошування, однак вал зазнає послаблення пазом. Таким чином, на валах що сприймають більші навантаження доцільно застосовувати сегментні шпонки, при допустимому діаметрі вала.

## 4. Охорона праці та техногенна безпека

### 4.1. Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Прокатне виробництво характеризується складністю й різноманітністю механічного устаткування, у зв'язку із чим, у виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори. Фізико-хімічні фактори є основними тільки при нагріванні металу перед прокаткою, вогневому зачищенні поверхні прокату й термообробці, холодній прокатці й нанесенні захисних покриттів.

Натискний пристрій є одним з небезпечних механізмів прокатного стану. Усі сполучні вали, муфти натискного пристрою обгороджують із боків ґратчастими або суцільними щитами або кожухами. На високошвидкісних станах, де виникає небезпека розриву сполучних муфт, запобіжні кожухи повинні бути дуже міцними, щоб витримувати удари шматків.

Шпинделі обгороджують міцним бар'єром і влаштовують майданчик з поручнями для зручності обслуговування.

Усунення неправильного виходу розкату з валків досягається дотриманням режиму нагрівання злитків і заготовок. Подавати для прокатки нерівномірно нагріті заготовки неприпустимо. Слід проводити ретельне настроювання стану, установлювати проводки й лінійки в строго передбаченім місці. Застосовувати вивідні проводки без бічних лінійок неприпустимо.

Для видалення окалини з поверхні розкату на рольгангу, що підводить, установлюють пристрої гідравлічного або механічної дії з надійним захистом від окалини, що відділяється.

Основними шкідливими і небезпечними чинниками в цеху є: шум, вібрація, надлишкові теплові виділення, пил.

У цеху є наступні види шумів: механічний, аеродинамічний, імпульсний, термічний. При тривалому впливі на працюючих, шум різної інтенсивності

приводить до розвитку професійної глухоти, перенапружує центральну нервову систему й веде до розладу функцій органів людини.

В прокатному цеху спостерігається високий рівень пилу й загазованості повітря. Зміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони у вигляді газу, пари і пилу не повинний перевищувати встановлені ПДК. При перевищенні ПДК можливі бронхіальна астма, емфізема легенів, рак дихальних шляхів. У цеху широко використовуються електроустановки, тому можливі різному ступеня важкості електротравми, виникнення опіків різному ступеня, внутрішніх ушкоджень і крововиливів.

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

Фактори	Нормативне значення, ПДК, ПДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактора % за зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
1 клас безпеки						
Ангидрид хромовий	0,01	0,020	2			83,1
2 клас безпеки						
Марганцю оксиди	0,3	0,56	1,87			83,1
3-4 клас безпеки						
Масла мінеральні	5,0	6,5	1,3			83,1
Азоту діоксид	2,0	4,0	2			83,1
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>						
Зміст кремнію діоксиду – 2,5%	4,0	26,4			6,6	83,1
III. Шум, Дб	80	93		13		100
IV. Мікроклімат в приміщенні						
- температура повітря, С	16-27	42		20,5		83,1
- швидкість руху повітря, м/сек	0,2-0,5	0,27				83,1
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140			860		79,8
V. Робоча поза						
Нахил корпусу в просторі, обумовлений технологічним процесом	28,1%	30%				
Кількість чинників			4	3	1	

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Робочі місця чергового і ремонтного слюсаря мають в наявності: один фактор третього ступеня, три фактора другого ступеня, чотири фактора першого ступеня небезпеки. За показниками робоче місце належить до шкідливих і важких умов праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1.

Робочий має право виходу на пенсію за списком №1. Згідно зі списком №1: пенсійний вік на пільгових умовах для чоловіків становить 50 років, для жінок 45 років, дається додаткова відпустка 14 днів і молоко.

Шкідливості і небезпеки цеху гарячої прокатки відносяться до фізичної групі ГОСТ 12.4103-83. До цієї групи належать пил, шум, зміни температури всередині цеху.

У таблиці 4.2 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу і заходи щодо їх усунення, які мають місце на ділянці чистових клітей.

Таблиця 4.2 - Технічні заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запиленість	Витяжна вентиляція	КСЗ	Q=115000 м <sup>3</sup> /ч -	У місцях створення пилу
2	Запиленість	Респіратор СІЗОД	Njgjkм-2	10г/м <sup>3</sup>	Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумні, беруші		Годен до 110дБ	Індивідуально
4	Температура у холодний період Температура у теплий період року	Утеплена куртка, ватяні штани, костюм з х / б тканини, черевики костюм з х / б тканини, черевики	Тн Ти	По росту робочого -	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що і при запиленості + костюм х / б, рукавиці	Пм	-	Індивідуально



Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм х / б тканини, черевики, в зимовий час видається утеплена куртка і ватні штани (ГОСТ 12.4.103 - 83)

### 4.3 Виробнича санітарія

#### 4.3.1. Опалення та вентиляція

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, в робочих і обслуговується зонах приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну і механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшення її кількості в повітрі, все обладнання закрито парасолями (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітропроводів з пристроями для очищення повітря. Також в прольоті металургійних ділянок встановлюють природну вентиляцію повітря. У такому вигляді вентиляція повітря надходить і видаляється через щілини вікон, дверей, воріт, ліхтарів.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) в яких в якості теплоносіїв використовують пар. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання (БНіП 2.04.05-91).

Норми мікроклімату на постійних робочих місцях вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Значення допустимих параметрів повітряного середовища в робочих зонах приміщень

Період року	Категорія роботи по тяжкості	Період року			Температура повітря в непостійних робочих місцях, °С
		на постійних робочих місцях			
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху воздуха, м/с	

Холодний	середньої важкості Пб	21	75	0,2	15
Холодний	тяжка III	19	75	0,3	13
Теплий	середньої важкості Пб	27	70	0,4	21
Теплий	тяжка III	26	75	0,5	19

#### 4.3.2 Природне і штучне освітлення

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

Характеристика приміщення ділянки чистової групи клітей:

- характер робіт - середня точність;
- розмір об'єкта розпізнавання, мм - від 1 до 5;
- розряд зорової роботи – V;
- подразряд роботи - B;
- контрастність об'єкта розпізнавання - середня;
- фон – середній.

Для ремонту обладнання передбачено штучне освітлення.

На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт в темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей з приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і 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) та комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, так як різкий контраст між яскраво освітленими і

неосвітленими місцями стомлює очі уповільнює швидкість роботи і нерідко є причиною нещасних випадків. На ділянці є дугові ртутні лампи типу ДРЛ-400, ДРЛ-100. Для ламп використовуються світильники типу: «Універсал», «Астра».

#### 4.3.3 Побутові і допоміжні приміщення

Відповідно до вимог СНиП 2-92-75 та БНіП 11-4-79 в цеху передбачені побутові та допоміжні приміщення: душові, роздягальні, умивальники, пункти харчування, санвузли. Норми забезпечення цеху санітарно-побутовими приміщеннями і пристроями представлені в таблиці 4.4.

Умивальники і душові розміщують в окремих приміщеннях, суміщених з гардеробами. При виробничих процесах зі значними тепловиділеннями передбачаються окремі додаткові умивальники з душовими сітками. Умивальники встановлюються з розрахунку 10 чоловік на 1 кран. У гардеробних, при закритому способі зберігання, число місць для зберігання має дорівнювати кількості працюючих в усіх змінах.

Таблиця 4.4 - Норми забезпечення цеху санітарно-побутовими приміщеннями і пристроями

№ п/п	Найменування	Одиниці виміру	Вимога по нормам, СНиП 2-92-76	Фактич. кількість
1.	Душові	Шт.	50	30
2.	Умивальники	Шт.	17	10
3.	Санвузли	Шт.	24	22
4.	Кімната особистої гігієни жінок	Шт.	8	8
5.	Штучна вентиляція для робочих місць	Шт.	102	100
6.	Медпункт	Шт.	1	1
7.	Їдальня	Шт.	1	1
8.	Буфет	Шт.	2	2

#### 4.3.4 Виробничий шум і вібрація

За походженням шум буває механічний, що виникає в результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому і робочому ходу; гідродинамічний, що виникає при великих швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, що виникає в результаті зіткнення твердих тіл; термічний, що генерується при згорянні палива в горілчаних і форсункових пристроях.

Шум різної інтенсивності і частоти, який тривалий час впливає на роботу, призводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, який сприймається і аналізується корою головного мозку, шум призводить до перенапруження центральної нервової системи і розладу функцій внутрішніх органів і систем людини.

Основним джерелом шуму в цеху є обертові частини механізмів та агрегатів (валки прокатних станів, конвеєра, транспортери, вантажопідйомні механізми, устаткування для оброблення металу та ін.). Для зменшення шуму в цеху в джерелі його утворення замінюють ударні взаємодії деталей безударними, зворотно-поступальні рухи - обертальними; демпфують коливання робочих клітей, привода стрічкових, пластинчастих конвеєрів, для чого зіштовхуючіся деталі і окремі вузли агрегатів сполучаються з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, бітумними картонами, азбестом і ін. Зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь, в приводах механізмів встановлюють пружні еластичні муфти.

Для ослаблення вібрацій всі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори і т. п.). Встановлюють на самостійних фундаментах, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин чи пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по

повітряводам і трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів вироб- водиться за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини або гумового патруб- ка.

#### 4.3.5 Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в ізольованих його частинах залежить від величини тепловиділень обладнання, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті і заклені прорізи. Частина тепла віддається назовні, а решта, так зване явне або надмірне тепло, нагріває повітря робочих приміщень.

Основним джерелом інфрачервоного випромінювання в цеху є разо-гріти до температури 1000 С метал. Джерелами тепловиділень є всі без винятку обертальні і пересувні механізми, а також головні приводу робочих клітей лінії прокатного стану.

Для поліпшення умов праці в гарячих цехах і захисту працюючих від теплового впливу застосовують такі способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохлаждаємих екранів, рам, щитів, завіс і ін .; теплоізоляцію та охолодження робочих місць (постів управління, кабін машиністів кранів та ін.); природну і механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнених просторів печей, що знаходяться в ремонті; водорозпилені на робочих місцях і в припливних віконних проємах; спецодяг та індивідуальні захисні пристосування - щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; раціональну організацію режиму праці і відпочинку.

Ефективним засобом зниження шкідливого впливу теплових викидів є максимальне скорочення часу перебування нагрітого металу в виробничих приміщеннях.

#### 4.4 Пожежна безпека

Ділянка має категорію по пожежонебезпеці Г (не горючі речовини розпечені або розплавлені, і горючі речовини спалюються або утилізуються як

паливо). Будівля ділянки чистових клітей відноситься до II ступеня вогнестійкості (будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з натуральних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

Межі вогнестійкості конструкцій:

- несучі і сходові клітки - 2 год;
- самонесучі - 1 год;
- зовнішні несучі - 0,25 год;
- внутрішні несучі - 0,25 год;
- колони - 2 год;
- сходові майданчики, щаблі, балки, марші сходових кліток - 1 год;
- плити, настили тощо, несучі конструкційні перекриття - 0,75 год;

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ОУ - 5 (15 шт), ОУ-10 (24 шт.), ОВП-10 (28 шт), пожежний інвентар (покриття-валі з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломы, сокири та ін.).

Цех має внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами та рукавами.

На території комбінату забороняється:

- курити в недозволених місцях;
- закривати і захаращувати проїзди, під'їзди і підходи до водопроводів і пожежних гідрантів;
- вимикати окремі ділянки водопровідної мережі, внутрішні пожежні крани, знижувати встановлений тиск в мережах;
- допускати до вогневих робіт осіб, які не пройшли інструктаж з пожежної безпеки;
- користуватися водою з пожежних водойм та засобами пожежогасіння не за прямим призначенням;
- застосовувати відкритий вогонь під час огляду устаткування і комунікацій.

## ВИСНОВКИ

Ознайомлення з технологією й устаткуванням цеху холодної прокатки показало, що одним з недоліків цеху є недостатньо надійна робота правильної машини агрегату поперечного різання.

Проведено огляд технологічного процесу виробництва холоднокатаних штаб та описано механічне обладнання цеху холодної прокатки.

Виконано розрахунки приводу правильної машини.

Фактори що впливають на працездатність правильної машини діляться на наступні групи:

- дотримання заданих параметрів на етапі проектування з акцентуванням уваги в процесі проектних розрахунків на режим роботи обладнання;
- дотримання стандартів на етапі виготовлення обладнання ( не допускати приховані внутрішні дефекти матеріалу, неякісної підгонки і зварювання);
- дотримання регламентних (паспортних) режимів роботи на етапі експлуатації обладнання;
- перевірка справності засобів захисту від перевантажень;
- дотримання нормативних вимог технічного обслуговування і ремонту обладнання.

Для підвищення працездатності роз'ємних з'єднань проведено моделювання з'єднання валів призматичними та сегментними шпонками. Дослідження показало, що особливістю застосування сегментних шпонки є більш стійке положення на валу, що виключає її перекошування, однак вал зазнає послаблення пазом. Таким чином, на валах що сприймають більші навантаження доцільно застосовувати сегментні шпонки, при допустимому діаметрі вала.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Целиков А.И. , Полухин П.И. , Гребеник В. М. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т.3.-М. : Металлургия, 1989. – 680 с.
2. Притыкин Д. П. Надежность , ремонт и монтаж металлургического оборудования. –М. : Металлургия, 1985. – 368 с.
3. Свистунов Е.А. , Чиченев Н.А. Расчет деталей и узлов металлургических машин. Справочник. М.: Металлургия, 1985. – 184с.
4. Цеков В.И. Ремонт деталей металлургических машин. Справочник. М.: Металлургия, 1987.- 320с.
5. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Металлургия , 1985. – 376с.
6. Мягков В.Д., Полей М.А. , Романов А.Б. и др. Допуски посадки . Справочник. ч.2 Л.: Машиностроение, 1983. - 448с.
7. Борушек С.С. , Волков А.А., Ефимов М.М. и др. Единая система конструкторской документации. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1978.-101с.
8. Гребеник В.М. , Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования . Оценка эксплуатационной надежности и долговечности. Справочник. М.: Металлургия, 1989. – 590с.
9. Кирилук Ю.Е. Допуски и посадки . Справочник . К.: Вища школа, 1989. – 135с.
10. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов . М.: Металлургия , 1987 . – 479 с.
11. Королев А.А. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов . М.: Металлургия, 1981. – 203с.
12. Гребеник В.М. , Иванченко Ф.К. , Ширяев В.И. Расчет металлургических машин и механизмов . К.: Вища школа , 1988.- 383 с.
13. Длоугов В.В. Приводы машин . Справочник. Л. : Машиностроение , 1982 . -383с.



14. Баласанян Р.А. Атлас деталей машин / Р.А. Баласанян. – Харьков, 1996.
15. Боков В.Н. Детали машин: атлас конструкций / В.Н. Боков, Д.В. Чернилевский, П.П. Будько. – М.: Машиностроение, 1983. – 575с.
16. Гузенков П.Г. Детали машин /П.Г. Гузенков. – М.: Высшая школа, 1986. – 360с.
17. Детали машин: атлас конструкций; под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1979. – 367с.
18. Дунаев П.Ф. Детали машин: курсовое проектирование / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400с.
19. Иосилевич Г.Б. Прикладная механика / Г.Б. Иосилевич и др. – М.: Высшая школа, 1989.
20. Ицкович Г.М. Соппротивление материалов / Г.М. Ицкович. – М.: Высшая школа, 1986. – 352с.
21. Заблонский К.И. Прикладная механика / К.И. Заблонский и др. – М.: Высшая школа, 1989.
22. Зубченко І.І. Деталі машин: конспект лекцій / І.І. Зубченко. – Тернопіль, 2000. – 212с.
23. Мазоренко Д.І. Деталі машин і основи конструювання: методичний посібник до курсового проекту. Частина І / Д.І. Мазоренко, А.В. Мінняйло. – Харків: ХДТУСГ, 1999. – 30с.
24. Мазоренко Д.І. Деталі машин і основи конструювання: методичний посібник до курсового проекту. Частина ІІ / Д.І. Мазоренко, А.В. Мінняйло. – Харків: ХДТУСГ, 2000. – 30с.
25. Розрахунок передач привода: методичні вказівки до виконання курсового проекту по деталях машин / Д.І. Мазоренко, А.В. Мінняйло, Б.З. Овчаров, Л.М. Тіщенко. – Харків: ХДТУСГ, 2004. – 132с.

26. Розрахунки і проектування деталей машин. Частина 1. Механічні передачі: навчальний посібник / Б.З. Овчаров, А.В. Міняйло, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Харків: ХНТУСГ, 2006. – 366с.
27. Розрахунки і проектування деталей машин. Частина 2. Вали і опори:  
навчальний посібник / Б.З. Овчаров, А.В. Міняйло, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 315с.
28. Павлице В.Г. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В.Г. Павлице. – Львів: в-во Львівського університету, 1993. – 555с.
29. Решетов Д.Н. Детали машин / Д.Н. Решетов. – М.: Высшая школа, 1989.
30. Семчишин, С.Г. Інженерна механіка: навчально-методичний посібник / С.Г. Семчишин, І.І. Зубченко. – Тернопіль: вид-во ТДТУ імені Івана Пулюя, 2004. – 115с.
31. Технічна механіка / О.О. Ердеди, І.В. Аникін, Ю.О. Медведєв,  
О.С. Чуйков. – К.: Вища школа, 1983. – 368с.
32. Техническая механика / А.А. Эрдеди, И.В. Аникин, Ю.А. Медведєв,  
А.С. Чуйков. – М.: Высшая школа, 1980. – 446с.
33. Хомик Н.І. Технічна механіка: курс лекцій / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. – Тернопіль, 2011. – 208с.
34. Цехнович Л.И. Атлас конструкцій редукторів / Л.И. Цехнович,  
И.П. Петриченко. – К.: Вища школа, 1979. – 128с.
35. Курсовое проектирование деталей машин / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин, Г.М. Ицкович, В.П. Козинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 416с.

## ДОДАТКИ

## СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Креслення загального виду	1	A1
2	Складальні креслення	2	A1
3	Деталювання	1	A2
4	Плакати дослідницької частини	1	A1