

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

магістра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): 132 «Матеріалознавство,
Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: «Дослідження властивостей матеріалів
фрикційних гальм напівпричепів з системою ВРW»

Шифр МРТАМ 24.23617.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
група МТВАм-23-1

Керівник к.т.н., доц. каф ТАМ.

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис

О. В. Диха
Ініціал, прізвище

11 12 2024 р.


Підпис

Б. О. Новацький
Ініціал, прізвище


Підпис

С. Ф. Посонський
Ініціал, прізвище

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Освітній рівень магістр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство».

Спеціалізація «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ

 Дика О.В.

10 жовтня 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Новацькому Богдану Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Дослідження властивостей матеріалів фрикційних гальм напівпричепів з системою ВРВ.

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце роботи

Затверджено наказом університету від 26.08.2024р. № 60 (Д 28)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналіз гальмівного механізму напівпричепів ВРВ.

2) Матеріали, обладнання та методика досліджень.

3) Аналіз експлуатаційних властивостей матеріалів вузла тертя гальмівний барабан – колодка.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз гальмівного механізму напівпричепів ВРВ.	30.10.24	вик
2	Матеріали, обладнання та методика досліджень	15.11.24	вик
3	Аналіз експлуатаційних властивостей матеріалів вузла тертя гальмівний барабан – колодка	23.11.24	вик
4	Висновки, рекомендації	4.12.24	вик
5	Оформлення пояснювальної записки	6.12.24	вик
6	Допуск до захисту	10.12.24	вик
7	Захист дипломної роботи	15.12.24	

Студент


Підпис

Новацький Б.О.
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Посонський С. Ф.
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Студент групи МТВАм-23-1 Новацький Богдан Олександрович.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему «Дослідження властивостей матеріалів фрикційних гальм напівпричепів з системою *BPW*» складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 20 найменувань, розміщених на 2 сторінках, та 2 додатків розміщених на 20 сторінках. Роботу викладено на 83 сторінках, з них 77 сторінок основного тексту, на яких розміщено 69 рисунків і 13 таблиць.

Ефективність гальма для контролю руху автомобіля залежить від багатьох факторів. Припускають, що існує щонайменше п'ять різних аспектів ефективності гальмування, які заслуговують на увагу для легкових і комерційних транспортних засобів. Ці аспекти або міри ефективності гальмування можна назвати продуктивністю, ефективністю, часом відгуку, керованістю та термічною ефективністю.

Теоретично тепло, що утворюється під час гальмування, призначене для поглинання барабаном у процесі провідності та навколишнім повітрям у процесі конвекції, деяка кількість тепла розсіюється випромінюванням від гальмівної системи. Погана конструкція та низька якість матеріалів барабанного гальма вантажівки недостатні для безперервного натискання гальма через швидкий знос і низьке розсіювання тепла, що потім підвищує температуру барабана та спричиняє передчасне згасання гальм.

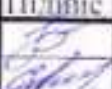


Метою роботи є пошук альтернативного гальмівного матеріалу для гальмівного барабана та гальмівної колодки важких напівпричепів *BPW*.

Ключові слова: НАПІВПРИЧІП; ГАЛЬМІВНИЙ БАРАБАН; ГАЛЬМІВНА КОЛОДКА; НАПРУЖЕННЯ; ТЕПЛОВИЙ ПОТІК; ЧАВУН; СТАЛЬ; АЛЮМІНІЄВИЙ КОМПОЗИТ; АЛЮМІНІЄВИЙ СПЛАВ; ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ГАЛЬМІВНОГО МЕХАНІЗМУ НАПІВПРИЧЕПІВ BPW	8
1.1 Компоненти гальмівної системи напівпричепів BPW.	8
1.2 Принцип роботи барабаних гальм.	13
1.3 Матеріали для барабаних гальм.	16
1.4 Аналіз розподілу навантажень в гальмівній системі.	19
1.5 Процеси тертя та зношування в гальмівному механізмі.	33
2 МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	38
2.1 Передумови дослідження.	38
2.2 Програмне забезпечення для досліджень.	40
2.3 Методика випробувань на зношування.	42
2.4 Матеріали та початкові дані для досліджень.	47
3. АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ВУЗЛА ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИЙ БАРАБАН – КОЛОДКА.	53
3.1 Аналіз методом кінцевих елементів.	53
3.1.1 Структурний аналіз гальмівного барабана.	53
3.1.2 Структурний аналіз гальмівної колодки.	60
3.2 Термічний аналіз гальмівного барабана та колодки.	66
3.3 Результати випробувань матеріалів на зношування.	73
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	83

МРТАМ 24.23617.000 ПЗ

Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Новацький			Дослідження властивостей матеріалів фрикційних гальм напівпричепів з системою BPW.			
Перевір.		Посонський					4	83
Н.контр. Затвер.		Бабак Диха				ХНУ МТВАМ-23-1		

ВСТУП

Гальмівна система комерційного вантажного автомобіля з причепом є важливою і складною системою, що складається з багатьох компонентів. Вона повинна відповідати жорстким міжнародним вимогам (ECE R13 та RREG71/320EEC) щодо ефективності, надійності та безпеки. Сучасні пневматичні системи дозволяють гальмувати важкі транспортні засоби з високою точністю, надійністю і можливістю керування, що робить їх незамінними в галузі комерційного транспорту [1].

За типом конструкції автомобільні гальма можна класифікувати на дискові та барабанні. Барабанне гальмо складається з гальмівного барабана, гальмівної колодки (колодки) і колісних циліндрів або гальмівних камер (для пневматичного гальма). Гальмівна сила, яку водій прикладає до педалі гальма, перетворюється на гальмівний тиск гальмівної колодки або колодки, і цей тиск розподіляється по всьому колу гальмівного барабана, щоб уповільнити швидкість автомобіля. Тертя між розширеною гальмівною колодкою та гальмівним барабаном, що обертається, виділяє тепло, яке поглинається гальмівною рідиною, механічними частинами та навколишньою атмосферою. Щоб забезпечити безперервне якісне гальмування, гальмівний барабан повинен швидко поглинати тепло та швидко видаляти його з гальмівної системи.

Ефективність гальма для контролю руху автомобіля залежить від багатьох факторів. Припускають, що існує щонайменше п'ять різних аспектів ефективності гальмування, які заслуговують на увагу для легкових і комерційних транспортних засобів. Ці аспекти або міри ефективності гальмування можна назвати продуктивністю, ефективністю, часом відгуку, керованістю та термічною ефективністю [2].

Для правильної роботи гальмівна система повинна відповідати наступним вимогам:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Гальма мають бути достатньо сильними, щоб зупинити транспортний засіб на мінімальній відстані в екстреній ситуації.

- Водій повинен мати належний контроль над транспортним засобом під час гальмування, і автомобіль не повинно заносити.

- Ефективність гальм не повинна знижуватися при постійному тривалому застосуванні.

- Гальма повинні мати хороші протизносні властивості.

Важливі вимоги до гальмівного барабана:

- Поверхня повинна мати хороші протизносні властивості.

- Він повинен забезпечувати оптимальну швидкість теплопередачі.

Тепло утворюється під час кожного застосування гальм, і воно має негайно розсіюватися в атмосферу, оскільки наступне застосування гальм знову вироблятиме більше тепла. Будь-який надмірний нагрів гальм може спричинити розширення барабана, що призведе до втрати ефективного ходу педалі та вицвітання гальмівних накладок.

- Він повинен мати достатню міцність, але мінімальну вагу.

- Його слід розмістити в межах доступного простору для коліс.

Зниження продуктивності гальм для керування транспортним засобом під час їзди вниз по схилу, яке зазвичай потребує постійного застосування гальм для контролю швидкості вантажівки, є проблемою для водіїв вантажівок. Наслідки виходу з ладу гальм небезпечні, оскільки вони мають велику ймовірність аварії та пошкодження автомобіля. В результаті аварії може статися втрата матеріалів, а іноді й життя. Існують різні фактори, які сприяють несправності гальм для керування вантажівкою; деякі з них – конструкція гальм, технічна проблема, висока швидкість автомобіля, тип дороги та погодні умови [2].

Теоретично тепло, що утворюється під час гальмування, призначене для поглинання барабаном у процесі провідності та навколишнім повітрям у процесі конвекції, деяка кількість тепла розсіюється випромінюванням від

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гальмівної системи. Погана конструкція та низька якість матеріалів барабанного гальма вантажівки недостатні для безперервного натискання гальма через швидкий знос і низьке розсіювання тепла, що потім підвищує температуру барабана та спричиняє передчасне згасання гальм.

Метою роботи є пошук альтернативного гальмівного матеріалу для гальмівного барабана та гальмівної колодки важких напівпричепів BPW, використовуючи чотири гальмівні матеріали як конструктивні змінні та порівнюючи їх структурні та термічні характеристики за допомогою тієї ж моделі та програмного забезпечення для аналізу.

У роботі було поставлено такі завдання:

1. Виконати аналіз роботи гальмівної системи напівпричепів BPW
2. Проаналізувати структурні та термічні характеристики гальмівного барабана та колодки з різних матеріалів за допомогою ANSYS.
3. Дослідити зносостійкість альтернативного матеріалу.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ГАЛЬМІВНОГО МЕХАНІЗМУ НАПІВПРИЧЕПІВ BPW

1.1 Компоненти гальмівної системи напівпричепів BPW.

Гальмівний механізм напівпричепу BPW (Bauer, Pohl & Wiegand) є одним із найпоширеніших рішень для вантажних автомобілів і напівпричепів. Компанія BPW була заснована в Німеччині і спеціалізується на виробництві осей, підвішувачів та гальмівних систем для вантажних автомобілів та причепів (рис. 1.1). Основні характеристики та особливості гальмівного механізму BPW включають [3]:

1. Типи гальмівних систем

BPW пропонує різні типи гальмівних систем, зокрема:

- Барабанні гальма: це традиційний варіант, який часто використовується в напівпричепках. Барабанні гальма забезпечують хорошу ефективність гальмування і високу стійкість до перегріву.

- Дискові гальма: цей варіант стає все більш популярним завдяки кращій ефективності гальмування, особливо при високих навантаженнях. Дискові гальма також забезпечують кращий розподіл тепла.



Рисунок 1.1 – Напівпричіп з віссю BPW

2. Система гальмування.

Гальмівна система BPW зазвичай складається з:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- Гальмівного барабана або диска: основна частина, на яку тиснуть гальмівні колодки.

- Гальмівних колодок: контактні елементи, які притискаються до барабана або диска, створюючи тертя для уповільнення руху.

- Гальмівного циліндра: гідравлічний або пневматичний циліндр, що відповідає за натискання колодок на барабан або диск.

- Пневматичної або гідравлічної системи: для забезпечення гальмівного зусилля.

3. Переваги гальмівного механізму BPW

- Висока ефективність гальмування: завдяки використанню сучасних матеріалів та технологій, гальмівні системи BPW забезпечують високу продуктивність.

- Надійність і довговічність: виробництво з високоякісних матеріалів забезпечує тривалий термін служби компонентів.

- Легкість обслуговування: багато елементів гальмівної системи BPW розроблені для простого обслуговування, що знижує витрати на експлуатацію.

- Інноваційні технології: BPW впроваджує новітні технології для поліпшення безпеки та ефективності, такі як автоматичні системи налаштування гальм.

4. Безпека і контроль

Гальмівні системи BPW часто оснащуються системами ABS (антиблокувальна система) і EBS (електронна гальмівна система), що забезпечує кращу контрольованість і безпеку під час гальмування, особливо в складних дорожніх умовах.

5. Екологічні рішення

BPW також орієнтована на екологічність, розробляючи системи, які зменшують викиди та покращують ефективність паливної економії.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гальмівний механізм напівпричепу BPW є надійним і ефективним рішенням для вантажних автомобілів. Використання сучасних технологій, інноваційних матеріалів та простота в обслуговуванні роблять ці гальмівні системи популярними серед операторів вантажного транспорту. Успішна експлуатація напівпричепів BPW залежить від регулярного технічного обслуговування та дотримання рекомендацій виробника.

На рисунку 1.2 показано компоненти, які використовуються для виготовлення найпростішої пневматичної гальмівної системи:

- Компресор для накачування повітря з регулятором для керування.
- Повітряні магістралі, що дозволяють повітрю під тиском протікати між повітряними компонентами гальмівної системи.
- Резервуар для зберігання стисненого повітря.
- Педаль гальма (зазвичай її називають ножним клапаном) для застосування гальм шляхом направлення стисненого повітря з резервуара до гальм.
- Основні гальма, включаючи гальмівні камери, регулятори слабини, гальмівні накладки та барабани або ротори для передачі зусилля, що генерується стисненим повітрям через механічний зв'язок гальма.

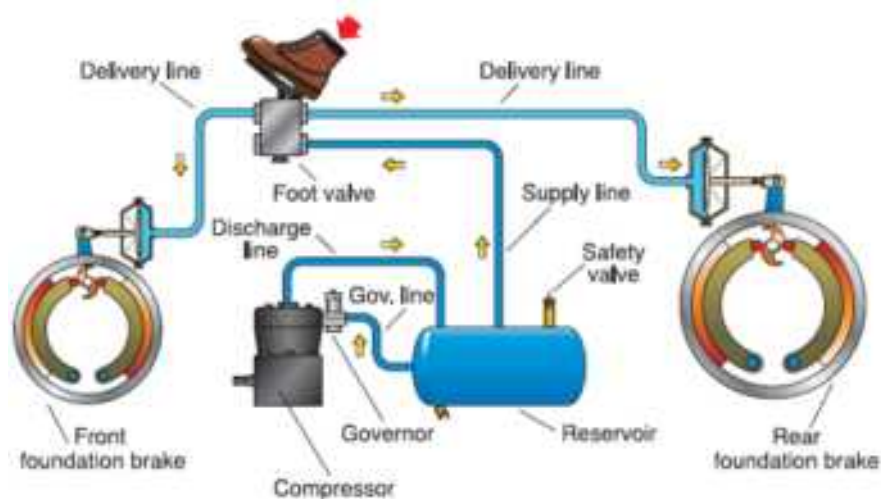


Рисунок 1.2 – Схема найпростішої пневматичної гальмівної системи.

										Арк.
										10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Аналіз конструкції гальмівного механізму напівпричепів вантажівок включає розгляд основних елементів, які забезпечують ефективне гальмування та безпеку руху. Напівпричепи вантажівок зазвичай використовують пневматичні гальмівні системи через їх надійність і можливість передачі значних зусиль на гальмівні механізми. Основними складовими елементами такої системи є (рис. 1.3):

1. Пневматичний контур.

Пневматичні гальмівні системи використовують стиснене повітря для активації гальмівних механізмів. Головний контур пневматичної системи складається з компресора, який стискає повітря, ресивера для зберігання повітря, та системи трубопроводів, через які повітря подається до гальмівних камер. Тиск повітря в тиск у резервуарах для зберігання зазвичай підтримується між 790,9 кПа (100 psig) і 997,7 кПа (130 psig) [4].

2. Гальмівні камери.

Гальмівні камери — це пристрої, які перетворюють тиск повітря в механічну силу для активації гальмівних колодок. При подачі стисненого повітря мембрана в камері зміщується, штовхаючи шток, який передає рух до гальмівного механізму.

3. Гальмівний механізм.

Основний тип гальмівного механізму, який використовують на напівпричепках, — це барабанні або дискові гальма:

- Барабанні гальма: Гальмівні колодки притискаються до внутрішньої поверхні гальмівного барабана, створюючи гальмівний ефект.

- Дискові гальма: Гальмівні колодки стискають обидві сторони диска, закріпленого на колесі, створюючи гальмівне зусилля.

4. Регулятор тиску.

Цей пристрій контролює тиск у гальмівній системі, дозволяючи підтримувати потрібне гальмівне зусилля на кожному колесі. Також використовується для розподілу гальмівного зусилля між напівпричепом і

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

тягачем, щоб уникнути блокування коліс і втрати контролю над транспортним засобом.

5. Антиблокувальна система (ABS)

На сучасних вантажівках та напівпричепках зазвичай встановлюється антиблокувальна система (ABS), яка запобігає блокуванню коліс під час гальмування. Ця система контролює обертання коліс і регулює тиск у гальмівних камерах, щоб забезпечити постійний контакт коліс з дорогою, що підвищує керованість автомобіля.

6. Стоянкове гальмо

Стоянкове гальмо, як правило, механічне або пневматичне з пружинним приводом, утримує напівпричіп на місці, коли транспортний засіб не рухається. Пружинні гальмівні камери забезпечують утримання навіть при відсутності тиску в системі.

7. Автономне гальмування

Сучасні системи можуть мати додаткові функції автономного екстреного гальмування, що використовують радары та камери для моніторингу дорожньої ситуації і автоматично активують гальма при виявленні небезпеки.

Конструкція гальмівного механізму напівпричепів вантажівок відрізняється високою складністю та надійністю. Важливою частиною є ефективність передачі гальмівного зусилля, надійність пневматичної системи та додаткові технології (ABS, автономне гальмування), що забезпечують підвищену безпеку на дорозі.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

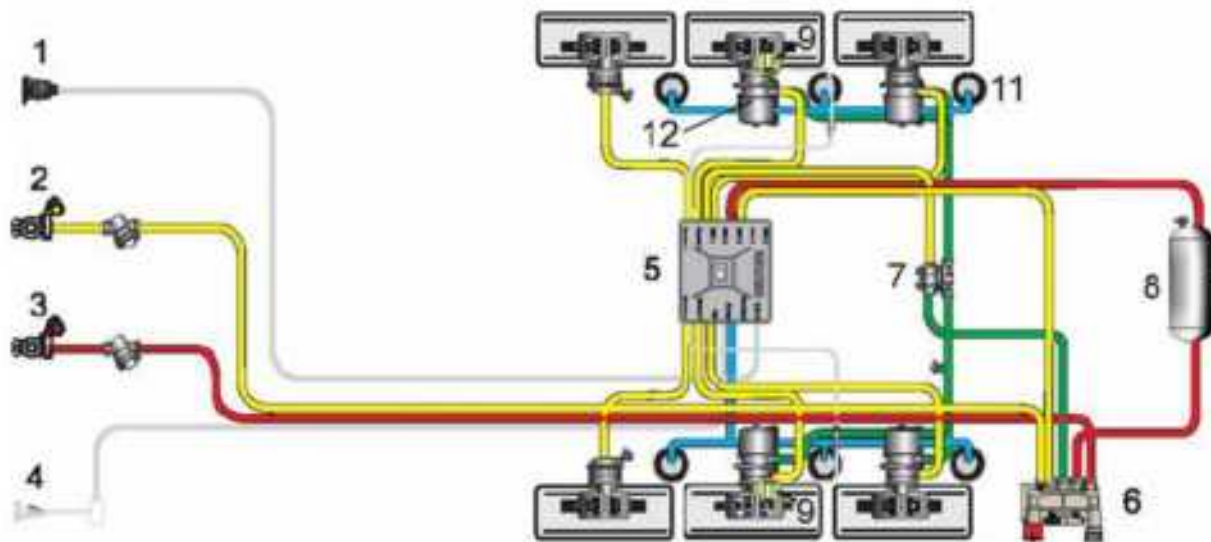


Рисунок 1.3 – Пневматична гальмівна система стандартного напівпричіпа із конфігурацією системи ABS 2S/2M:

1 – Електроживлення за ISO 7638, 2 – гальмівна магістраль, 3 – живлячий трубопровід, 4 – живлення від стоп-сигналу 24N ISO 1185 (у якості опції), 5 – модулятор TEBS E (с вбудованими датчиками тиску та вбудованим резервним клапаном), 6 – повітророзподільник комбінований з функцією розгальмовування (PREV), 7 – клапан захисту від навантаження, 8 – ресивер робочої гальмівної системи, 9 – датчик частоти обертання системи ABS, 10 – прискорювальний клапан EBS для керування 2-ю віссю (3- й модулятор), 11 – несучий пневмобалон, 12 – циліндр Tristor.

Лініями позначені з'єднання компонентів кабелями та трубопроводами.

1.2 Принцип роботи барабанних гальм.

Принцип роботи барабанних гальм заснований на використанні тертя, що виникає між гальмівними колодками та внутрішньою поверхнею гальмівного барабана (рис 1.4). Цей механізм досить простий, але ефективний для великих транспортних засобів, таких як вантажівки та напівпричепи. Розглянемо його ключові елементи та етапи роботи.

										Арк.
										13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23617.000. ПЗ					

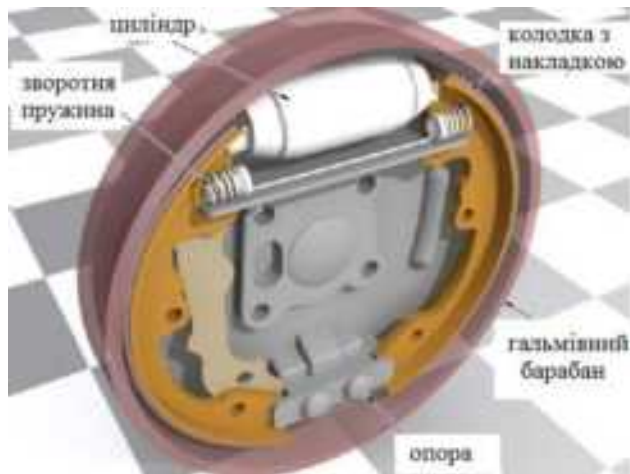


Рисунок 1.4 – Конструкція барабанних гальм.

Основні компоненти барабанних гальм [4]:

1. Гальмівний барабан — це циліндрична деталь, яка закріплюється на маточині колеса і обертається разом з ним.

2. Гальмівні колодки — розташовані всередині барабана, колодки містять фрикційні накладки, які притискаються до барабана під час гальмування.

3. Гальмівні пружини — відповідають за повернення колодок у вихідне положення після зняття гальмування.

4. Гальмівний циліндр — забезпечує подачу гідравлічного або пневматичного тиску на колодки.

5. Регулятор колодок — автоматично або вручну регулює відстань між колодками та барабаном для підтримки оптимальної ефективності гальмування.

Принцип роботи наступний:

1. Натискання на педаль гальма:

Коли водій натискає на педаль гальма, стиснене повітря (в пневматичних системах) або рідина (в гідравлічних системах) подається до гальмівного циліндра, що розташований між колодками.

2. Тиск на колодки:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гальмівний циліндр створює тиск на поршні, які, в свою чергу, штовхають колодки назовні. Колодки розходяться в сторони і притискаються до внутрішньої поверхні гальмівного барабана.

3. Фрикційне гальмування:

Тертюві накладки колодок контактують з барабаном, який обертається разом з колесом. Завдяки тертю між накладками і барабаном, колесо уповільнює обертання, що призводить до зменшення швидкості автомобіля або його повної зупинки.

4. Зняття гальмування:

Коли водій відпускає педаль гальма, тиск у гальмівному циліндрі зменшується. Пружини повертають колодки у вихідне положення, відводячи їх від барабана, і колесо починає вільно обертатися.

5. Регулювання відстані:

Регулятор колодок постійно стежить за тим, щоб відстань між колодками і барабаном залишалася оптимальною. Це важливо, оскільки накладки на колодках зношуються з часом, і регулятор автоматично збільшує їхній хід для компенсації зносу.

Переваги барабанних гальм:

- Висока ефективність на важких транспортних засобах.
- Добра захищеність від бруду та води, що забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах.
- Тривалий термін служби колодок завдяки їхній великій поверхні контакту.

Недоліки:

- Схильність до перегріву при інтенсивному гальмуванні, що може зменшити ефективність.
- Складність охолодження у порівнянні з дисковими гальмами.
- Можливість накопичення зносу і зниження чутливості гальмівного механізму.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, барабанні гальма є надійною системою для великих транспортних засобів, забезпечуючи хорошу гальмівну силу, проте вони мають певні обмеження, зокрема щодо охолодження та зносу.

1.3 Матеріали для барабанних гальм.

Гальмівні барабани виготовляються з матеріалів, які поєднують високу міцність, термостійкість і зносостійкість, оскільки ці компоненти піддаються великим механічним і термічним навантаженням. Основні матеріали, які використовуються для виробництва гальмівних барабанів [4 - 8]:

1. Сірий чавун: це найбільш поширений матеріал для виготовлення гальмівних барабанів завдяки його високій термостійкості, хорошим фрикційним властивостям і здатності добре поглинати вібрації. Його структура дозволяє розсіювати тепло, яке виникає під час гальмування, що зменшує ризик деформації барабана.

Переваги: висока зносостійкість, термостабільність, низька вартість виробництва. Недоліки: чавун є досить крихким матеріалом, що може призводити до появи тріщин при значних температурних змінах або ударах.

2. Високоміцний чавун. Має кращу міцність і в'язкість порівняно зі звичайним сірим чавуном. Високоміцний чавун застосовується для гальмівних барабанів, що експлуатуються в умовах високих навантажень, де необхідна підвищена стійкість до термічної деформації та зносу.

3. Сталь. Використовується в поєднанні з іншими матеріалами або для спеціальних типів барабанів. Сталь забезпечує високу міцність і стійкість до зносу, але її основним недоліком є схильність до деформації через перегрів, а також гірші фрикційні властивості порівняно з чавуном. Через це сталеві барабани часто мають додаткові елементи для підвищення термостійкості.

4. Композитні матеріали. Сучасні композитні матеріали використовуються для зменшення ваги гальмівних барабанів і поліпшення їх

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

тепловіддачі. Найчастіше композитні барабани мають сталевий зовнішній корпус і вставки з чавуну або інших термостійких матеріалів для забезпечення хороших фрикційних властивостей. Переваги: зменшена вага, краща термостійкість, зниження ризику перегріву. Недоліки: вища вартість виготовлення.

5. Алюмінієві сплави. Алюміній використовується в гальмівних системах легкових автомобілів, а також в деяких легких напівпричепках або спеціальних транспортних засобах, де важливим є зменшення маси. Однак для великих вантажівок використання алюмінію обмежене через низьку термостійкість і зносостійкість. Переваги: легкість, хороша тепловіддача. Недоліки: слабка стійкість до високих температур і механічного зносу.

6. Кераміка. Керамічні матеріали використовуються у високотехнологічних гальмівних системах спортивних автомобілів, але в гальмівних барабанах напівпричепів застосовуються рідко через високу вартість. Кераміка забезпечує чудову термостійкість і майже повну стійкість до зносу, але її крихкість і дорожнеча обмежують використання в стандартних вантажних системах. Переваги: висока термостійкість, довговічність. Недоліки: висока вартість, крихкість.

Для виготовлення гальмівних барабанів вантажівок та напівпричепів зазвичай використовуються сірий чавун або високоміцний чавун через їхню високу термостійкість і хороші фрикційні властивості. У деяких випадках можуть застосовуватися сталеві або композитні матеріали для зменшення ваги та підвищення міцності барабанів.

Гальмівні колодки — це ключовий елемент гальмівної системи, який відповідає за безпосереднє створення тертя для зупинки транспортного засобу. Основний матеріал колодок має забезпечувати ефективне гальмування, довговічність і стійкість до високих температур. Залежно від типу транспортного засобу, умов експлуатації і вимог до продуктивності,

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

використовуються різні типи матеріалів для фрикційних накладок гальмівних колодок:

1. Органічні матеріали. Формульовані органічні суміші (Non-Asbestos Organic, NAO): виготовляються з натуральних матеріалів, таких як резина, скловолокно, синтетичні волокна, смоли та інші компоненти, що забезпечують оптимальне тертя. Ці матеріали не містять азбесту, який раніше широко використовувався, але був заборонений через шкідливий вплив на здоров'я. Переваги: м'якість, менший шум при гальмуванні, зниження зносу гальмівного диска або барабана. Недоліки: менша термостійкість і швидший знос при високих навантаженнях.

2. Напівметалеві матеріали. Напівметалеві композити: містять велику кількість металевих часток, таких як мідь, сталь, залізо або графіт, змішаних із синтетичними волокнами і смолами для зв'язування. Це забезпечує кращу тепловіддачу і підвищену стійкість до зношування. Переваги: висока зносостійкість, термостійкість і ефективність гальмування при високих температурах. Недоліки: можуть бути більш гучними і жорсткими, що може призводити до зносу гальмівного диска або барабана.

3. Металеві та сплавні матеріали. Металеві колодки: використовують різні метали або їхні сплави (наприклад, сталеві або мідні суміші) для забезпечення високої зносостійкості і термостабільності. Металеві колодки зазвичай використовуються в умовах високих навантажень, таких як важкі вантажівки або спортивні автомобілі. Переваги: висока ефективність при високих температурах, довговічність. Недоліки: підвищений шум, більша вага, вищий знос диска або барабана.

4. Керамічні матеріали. Керамічні фрикційні накладки: складаються з керамічних волокон, керамічного порошку і дрібних металевих часток. Ці матеріали забезпечують стабільне гальмування при високих температурах і мають високу стійкість до зношування. Переваги: мінімальний рівень шуму, чистота (менше пилу), стабільність при високих температурах. Недоліки:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

висока вартість виробництва, може бути менш ефективним при низьких температурах.

5. Вуглецево-керамічні матеріали. Це високотехнологічні матеріали, які використовуються здебільшого в спортивних автомобілях і авіаційній техніці. Вони поєднують вуглецеві волокна та кераміку для забезпечення надзвичайної термостійкості та мінімального зносу. Переваги: найвища стійкість до зносу та перегріву, чудова продуктивність. Недоліки: дуже висока вартість і рідкісне застосування в комерційних вантажівках.

6. Азбест (застарілий матеріал). Азбестові колодки: раніше азбест широко використовувався через його вогнестійкі властивості та ефективність у гальмівних системах. Однак азбест шкідливий для здоров'я, тому його використання було заборонено в багатьох країнах. Переваги (у минулому): Хороші термостійкість і довговічність. Недоліки: Шкідливість для здоров'я, небезпека розвитку легневих захворювань при вдиханні азбестових волокон.

Матеріали для гальмівних колодок вибираються залежно від умов експлуатації. Органічні колодки підходять для легкових автомобілів і помірних умов. Напівметалеві та металеві колодки більше підходять для важких вантажівок, які піддаються високим навантаженням. Керамічні та вуглецево-керамічні матеріали використовуються в умовах екстремальних навантажень, наприклад у спорті або авіації.

1.4 Аналіз розподілу навантажень в гальмівній системі.

При русі транспортного засобу по заданій траєкторії (рис. 1.5) він піддається впливу декількох зовнішніх сил, які впливають на його динаміку.

Основними серед них є [9]:

1. Гравітаційна сила (mg) де (m) - маса транспортного засобу, (g) - прискорення вільного падіння ($\approx 9,81 \text{ м/с}^2$). Це сила, яка спрямована вниз і дорівнює добутку маси транспортного засобу на прискорення вільного

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

падіння. Вона визначає вагу автомобіля і впливає на силу тертя між колесами та дорожнім покриттям. На ухилах ця сила розкладається на дві складові: вздовж траєкторії руху (яка сприяє або протидіє руху на спуску або підйомі) і перпендикулярну до поверхні (яка створює тиск на дорогу).

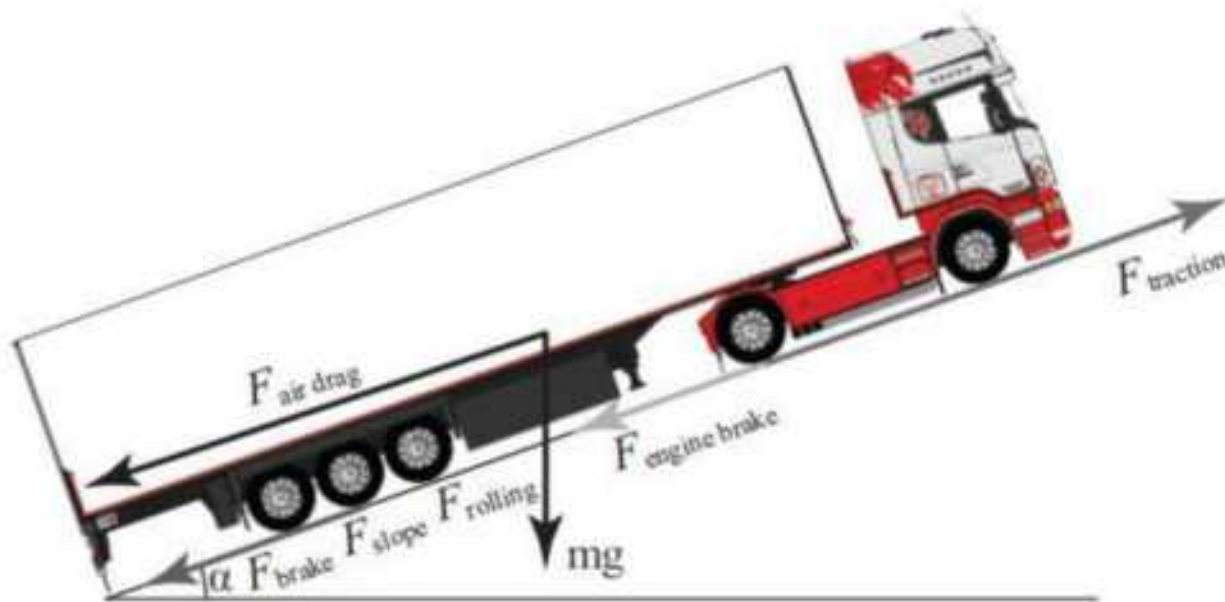


Рисунок 1.5 – Загальна схема дії сил на вантажівку з причепом.

2. Аеродинамічний опір (F_d). Ця сила протидіє руху транспортного засобу і збільшується зі швидкістю. Вона залежить від площі лобової поверхні транспортного засобу, коефіцієнта аеродинамічного опору та щільності повітря.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1.1)$$

де: C_d - коефіцієнт аеродинамічного опору, A - площа лобової поверхні транспортного засобу, ρ - густина повітря, v - швидкість транспортного засобу.

3. Сили тертя від дорожнього покриття.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23617.000. ПЗ				

Ці сили виникають у місці контакту коліс з дорогою і поділяються на кілька компонентів залежно від умов руху:

- Тертя під час тяги (F_t): Сила, що передається від двигуна до коліс для руху автомобіля вперед. Вона залежить від потужності двигуна та зчеплення коліс з дорогою.

- Тертя під час гальмування (F_b): Це сила, що діє на колеса при гальмуванні, спрямована проти напрямку руху і зупиняє автомобіль. Її визначають характеристики гальмівної системи і стан дорожнього покриття.

- Опір коченню (F_r): Це сила, що виникає через деформацію шин і дорожнього покриття. Вона пропорційна нормальній силі (вазі) автомобіля і залежить від коефіцієнта опору коченню, типу шин і стану дороги.

$$F_r = C_r N, \quad (1.2)$$

де: C_r - коефіцієнт опору коченню, N - нормальна сила, яка діє на колеса.

- Сили від нерівностей дороги (F_n): Нерівності дороги, такі як ями або виступи, створюють додаткові сили, які можуть як підвищити, так і знизити зчеплення коліс з дорогою, змінюючи загальну динаміку автомобіля.

4. Сила від схилу (F_s). На схилах частина гравітаційної сили діє вздовж дороги. Якщо транспортний засіб піднімається вгору, ця сила працює проти руху, і водію необхідно компенсувати її додатковою тягою. Якщо автомобіль рухається вниз, сила схилу сприяє його руху і може прискорювати транспортний засіб.

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (1.3)$$

де: θ - кут нахилу дороги.

Всі ці сили впливають на динаміку транспортного засобу, змінюючи його швидкість, прискорення та керованість.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При гальмуванні транспортного засобу під час руху на нього впливають кілька факторів, які суттєво впливають на ефективність гальмування і загальну динаміку процесу. Основними факторами є:

1. Сила тертя між гальмівною накладкою та барабаном. Це одна з ключових сил, яка безпосередньо визначає здатність автомобіля уповільнюватися або зупинятися. Вона залежить від:

- Коефіцієнта тертя між гальмівною накладкою (колодкою) та поверхнею диска або барабана.

- Сили притискання гальмівної колодки до диска або барабана, що визначається тиском у гідравлічній або пневматичній системі.

- Температури: При високих температурах тертя може знижуватися через перегрівання гальмівних компонентів, що погіршує гальмування.

- Стану фрикційних матеріалів: Зношені або забруднені колодки зменшують ефективність тертя.

2. Сила тертя між дорогою та колесом. Ця сила впливає на те, наскільки ефективно транспортний засіб може передати гальмівне зусилля на дорожнє покриття. Вона визначається такими факторами:

- Коефіцієнт зчеплення між шинами та дорожньою поверхнею, який залежить від типу покриття (суха дорога, мокра, засніжена, обледеніла) та типу шин (зношені, зимові, літні).

- Тиск у шинах: Низький або надмірний тиск у шинах знижує площу контакту колеса з дорогою, що може впливати на зчеплення.

- Стан шин: Зношені або неякісні шини не здатні забезпечити потрібний рівень зчеплення з дорогою, що призводить до збільшення гальмівного шляху.

3. Сила, що утворюється від ухилу дороги. Ухил дороги суттєво впливає на гальмівні характеристики: На підйомі: гравітаційна сила спрямована в протилежний бік до руху, що допомагає зменшити швидкість, полегшуючи гальмування. На спуску: гравітація працює в напрямку руху

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

автомобіля, що збільшує навантаження на гальмівну систему, вимагаючи більшого гальмівного зусилля для зупинки.

4. Швидкість транспортного засобу. Швидкість автомобіля є важливим чинником, оскільки кінетична енергія транспортного засобу пропорційна квадрату його швидкості:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.4)$$

де: E - кінетична енергія, m - маса автомобіля, v - швидкість автомобіля.

Чим вища швидкість, тим більше енергії потрібно розсіяти для зупинки, і тим більшу роботу повинна виконати гальмівна система.

5. Маса транспортного засобу. Маса транспортного засобу також впливає на ефективність гальмування:

- Більший вантаж або більша вага транспортного засобу означає більшу інерцію, що вимагає більшої гальмівної сили для зупинки або уповільнення автомобіля.

- При цьому важкий транспорт може потребувати посиленних гальмівних систем для забезпечення безпечного гальмування.

6. Інерційні сили. Інерція транспортного засобу під час гальмування чинить опір зміні швидкості, що впливає на довжину гальмівного шляху. Важливо також враховувати перерозподіл маси під час гальмування: передні осі отримують більше навантаження, що може призвести до блокування передніх коліс (якщо немає ABS). Блокування коліс на задніх осях, ймовірно, призведе до відхилення руху, який є нестабільним у напрямку. Блокування на передніх осях не призводить до нестабільності напрямку, але робить керування неефективним. Основні режими нестабільності одно - та багатокомбінованих транспортних засобів проілюстровано на рисунку 1.6. Чорні колеса мають мінімальну здатність протистояти бічним динамічним

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Z - навантаження на колесо від ваги транспортного засобу (mg). Це вертикальна сила, яка виникає через вагу транспортного засобу, що діє на кожне окреме колесо. Вона пропорційна масі транспортного засобу та розподіляється між осями залежно від конструкції автомобіля і умов руху (рівна дорога чи ухил).

2. X - сила реакції транспортного засобу на колесо. Це горизонтальна сила, яка виникає як реакція дорожнього покриття на колесо в напрямку руху або гальмування. Вона часто пов'язана з поздовжньою силою (F_x), що діє на колесо, і може змінюватися залежно від стану дорожнього покриття і швидкості автомобіля.

3. F_x - поздовжня сила на колесі. Ця сила виникає через тягу або гальмування транспортного засобу і діє вздовж траєкторії руху. Під час гальмування ця сила спрямована проти руху і залежить від коефіцієнта тертя між шиною та дорожнім покриттям, а також від сили гальмування.

$$F_x = \mu \cdot N, \quad (1.5)$$

де: μ - коефіцієнт тертя між колесом і дорожнім покриттям, N - нормальна сила (часто співпадає з Z).

4. F_s - гальмівне тертя в колесі. Це сила тертя, що діє між гальмівними колодками та гальмівним барабаном (або диском у випадку дискових гальм). Вона генерується гальмівною системою і є основною причиною зупинки колеса. Вона залежить від тиску в гальмівній системі та коефіцієнта тертя між гальмівними компонентами.

5. r - радіус колеса важливий для розрахунку моментів і кінетичної енергії, що зберігається в обертовому колесі. Чим більший радіус, тим більше обертів робить колесо при тій же швидкості, і тим більший крутний момент потрібно для гальмування.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. M_t - момент колеса. Це момент сили, який створюється гальмівною системою для зупинки обертання колеса. Момент обчислюється як добуток гальмівної сили на колесі та радіуса колеса [9]:

$$M_t = F_s \cdot r . \quad (1.6)$$

7. V - похідна прискорення за часом. Це прискорення або уповільнення транспортного засобу, що виникає внаслідок гальмування. Вектор прискорення спрямований проти напрямку руху, і його величина залежить від сили гальмування та маси транспортного засобу.

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1.7)$$

де: a - прискорення (від'ємне при гальмуванні), ΔV зміна швидкості, Δt - проміжок часу.

8. F_c - навантаження колеса та сила реакції дороги. Це сила, з якою дорожнє покриття реагує на тиск колеса. Вона діє у напрямку, протилежному до нормальної сили (Z), і забезпечує необхідний опір для того, щоб колесо не втратило зчеплення з дорогою.

9. e – відстань. Відстань може стосуватися важливих параметрів, таких як відстань від центру колеса до точки прикладення сили, або відстань між центрами коліс на осі (колісна база). Вона впливає на розподіл сил на колеса, зокрема під час гальмування, коли вага транспортного засобу може зміщуватися вперед або назад.

Ця схема важлива для розуміння поведінки транспортного засобу під час гальмування та його взаємодії з дорожньою поверхнею.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Тертя і розподіл навантаження:

- Зусилля тертя, що виникає між колодками і барабаном, пропорційне до притискного зусилля. Оскільки колодки мають певну площу контакту з барабаном, розподіл цього зусилля по поверхні не є рівномірним.

- У верхній і нижній частинах колодок можуть виникати різні за величиною зусилля через геометрію механізму і наявність конструктивних люфтів або еластичності матеріалів.

4. Фактори впливу на рівномірність зусиль:

- Гальмівний момент: Найбільші зусилля тертя виникають на ділянках, де передається максимальний гальмівний момент. Зазвичай це ближче до передньої частини барабана, де сили тертя найбільш ефективно уповільнюють обертання колеса.

- Температурне навантаження: Під час гальмування барабан і колодки нагріваються, що може призводити до нерівномірного теплового розширення. Це впливає на розподіл зусиль, оскільки гарячіші ділянки мають нижчий коефіцієнт тертя, що може знижувати ефективність на цих ділянках.

- Еластичність матеріалів: Колодки і барабан дещо деформуються під час роботи через притискні зусилля. Більш еластичні матеріали можуть краще адаптуватися до нерівностей поверхні, забезпечуючи рівномірніший розподіл зусиль.

5. Самоенергізуючий ефект (самопідсилення):

У барабанних гальмівних системах може виникати самоенергізуючий ефект, коли сила тертя між колодкою і барабаном підсилює притискну силу колодки. Це відбувається, коли напрямок обертання колеса і тиск на гальмівну колодку сприяють збільшенню сили тертя. Цей ефект може збільшити гальмівне зусилля, але також може призвести до нерівномірного зносу колодок.

6. Нерівномірність зношування:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- Через нерівномірний розподіл зусиль тертя по поверхні колодки можуть зношуватися нерівномірно, що з часом погіршує ефективність гальмування. Це особливо характерно для передніх і задніх частин колодок, де концентрація зусиль може бути різною.

Способи покращення розподілу зусиль:

- Регулярне регулювання гальмівних колодок: Оскільки колодки зношуються, регулювання дозволяє підтримувати рівномірний контакт з барабаном.

- Поліпшення конструкції: Використання високоякісних матеріалів для колодок та барабанів, що мають кращу теплопровідність і стабільність при нагріванні, допомагає зменшити локальний перегрів і знос.

- Застосування сучасних фрикційних матеріалів: Використання композитних і керамічних матеріалів може допомогти рівномірніше розподілити тиск і покращити зносостійкість.

Гальмівний коефіцієнт і hC^* (гальмівна енергія) є важливими показниками, які характеризують ефективність пневматичних гальм комерційних автомобілів. Розглянемо ці поняття детальніше.

1. Гальмівний коефіцієнт (μ) - це величина, що описує здатність фрикційних матеріалів (гальмівних колодок та барабана або диска) забезпечувати тертя під час гальмування. Цей коефіцієнт визначається за формулою [9]:

$$F = \mu N, \quad (1.8)$$

де: F - гальмівна сила (Н), рис. 1.8; N - нормальна сила (Н); μ - гальмівний коефіцієнт (безрозмірна величина).

Значення гальмівного коефіцієнта:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Для пневматичних гальм комерційних автомобілів гальмівний коефіцієнт зазвичай знаходиться в діапазоні 0,35 – 0,45.

- Значення може змінюватися залежно від типу використовуваних фрикційних матеріалів, умов експлуатації та стану гальмівних компонентів.

2. Гальмівна енергія (hC^*) - це міра енергії, що вивільняється або витрачається під час процесу гальмування. Вона визначається як [9]:

$$hC^* = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.9)$$

де: m - маса автомобіля (кг); v - швидкість автомобіля до гальмування (м/с).

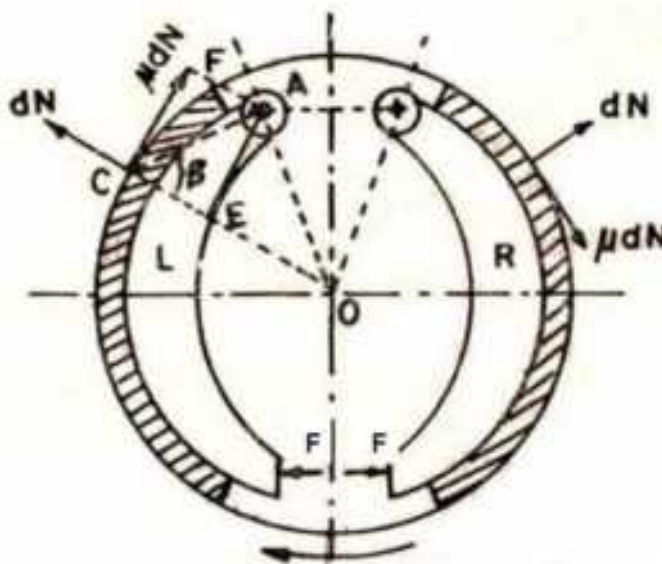


Рисунок 1.8 – Схема притискання колодок.

Гальмівна енергія використовується для подолання інерції автомобіля і перетворюється в тепло через тертя між гальмівними компонентами.

Збільшення швидкості або маси автомобіля прямо пропорційно впливає на гальмівну енергію, що означає, що гальмівна система повинна бути спроектована для впливу на великі значення hC^* , особливо в умовах високих швидкостей і великих вантажів.

3. Фактори, що впливають на гальмівний коефіцієнт та hC^*

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- Матеріали: склад фрикційних матеріалів гальмівних колодок і барабанів/дисків може впливати на значення гальмівного коефіцієнта.
- Температура: висока температура може зменшувати гальмівний коефіцієнт через перегрівання гальмівних компонентів.
- Умови експлуатації: дороги, навантаження, стан гальм і тип транспорту також можуть впливати на значення цих показників.

Гальмівний коефіцієнт і hC^* є ключовими показниками, які забезпечують розуміння ефективності пневматичних гальм комерційних автомобілів. Регулярний контроль і обслуговування гальмівної системи є необхідними для підтримання їхніх характеристик у належному стані, що, в свою чергу, впливає на безпеку та надійність транспортних засобів.

Крутний момент, створюваний барабанним гальмом, є важливим показником ефективності гальмівної системи. Він визначає, наскільки добре гальма можуть зупинити або уповільнити обертання колеса під час гальмування. Давайте розглянемо, як розраховується крутний момент і які фактори на нього впливають.

1. Формула для розрахунку крутного моменту [9].

$$M = F \cdot r, \quad (1.10)$$

де: M - крутний момент (Н·м); F - гальмівна сила, що діє на барабан (Н); r - радіус барабана (м) або відстань від осі обертання до точки застосування сили.

Ефективність барабанного гальма можна виміряти в термінах відношення крутного моменту, створюваного самим гальмом, до крутного моменту, необхідного для активації гальма, також відомий як фактор колодки; а саме:

$$\frac{T}{M_a} = \frac{T}{M_n \pm M_f} \quad (1.11)$$

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2. Гальмівна сила (F) визначається через гальмівний коефіцієнт μ та нормальну силу N , що діє на гальмівні колодки. Формула виглядає наступним чином:

$$F = \mu N, \quad (1.11)$$

де: N - нормальна сила, яка виникає через натиск гальмівних колодок на барабан (H).

3. Нормальна сила (N) є результатом тиску, що створюється гідравлічним або пневматичним циліндром. Чим більше цей тиск, тим більша нормальна сила, отже, і гальмівна сила буде більшою.

Фактори, що впливають на крутний момент:

- Стан гальмівних колодок і барабана: зношування або забрудненість може знизити коефіцієнт тертя та, відповідно, гальмівну силу.
- Температура: підвищення температури може змінювати фізичні властивості фрикційних матеріалів, що вплине на коефіцієнт тертя.
- Тиск у системі: у пневматичних системах тиск повітря має безпосередній вплив на нормальну силу, а отже, і на гальмівну силу.

Крутний момент, створюваний барабанним гальмом, є критично важливим показником для розуміння ефективності гальмівної системи. Він визначає здатність гальм уповільнювати або зупинити автомобіль і залежить від багатьох факторів, таких як гальмівний коефіцієнт, нормальна сила та радіус барабана. Регулярне обслуговування гальмівної системи, включаючи перевірку стану колодок і барабанів, допоможе забезпечити їхню ефективність та безпеку.

Розподіл зусиль у вузлі тертя гальмівний барабан – колодка не є рівномірним через конструктивні особливості та вплив зовнішніх факторів, таких як температура і зношування. Для оптимальної роботи гальм важливо

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримувати правильне регулювання системи, використовувати якісні матеріали та контролювати стан колодок і барабанів.

1.5 Процеси тертя та зношування в гальмівному механізмі.

Зношування у вузлі тертя "гальмівний барабан – колодка" є важливим показником стану гальмівної системи. Типи зношування залежать від багатьох факторів, зокрема від умов експлуатації, матеріалів фрикційних елементів та термодинамічних процесів у гальмівному механізмі. Основні види зношування, що можуть виникати у цьому вузлі, включають [10]:

1. Нерівномірне зношування. Ознаки: різний ступінь зношування на різних частинах колодки або барабана. Причини: нерівномірний розподіл тиску по поверхні контакту, неправильне регулювання гальмівних колодок, дефекти поверхні барабана, погане охолодження в окремих зонах. Наслідки: зниження ефективності гальмування, шум, вібрації під час гальмування. Нерівномірне зношування часто є сигналом необхідності регулювання або заміни деталей.

2. Абразивне зношування. Ознаки: поверхня гальмівних колодок або барабана виглядає зношеною через дію твердих часток. Причини: потрапляння бруду, піску або інших твердих часток у зону тертя. Може бути спричинене недостатнім захистом гальмівної системи від пилу та бруду. Наслідки: швидке зношування колодок і барабанів, можливе пошкодження фрикційних поверхонь, що знижує ефективність гальмування.

3. Теплове зношування (термальне втомлене зношування). Ознаки: поверхня колодки або барабана стає знебарвленою, з'являються тріщини або навіть часткове руйнування матеріалу. Причини: перегрів, що виникає під час тривалого або інтенсивного гальмування, особливо при високих навантаженнях. Тривалий вплив високих температур призводить до втрати

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

міцності та руйнування матеріалу. Наслідки: деформація барабана або колодки, зниження гальмівної здатності, ризик відмови гальм.

4. Адгезійне зношування (прилипання). Ознаки: частини колодки можуть прилипати до барабана або навпаки, що створює нерівності та сліди на поверхні. Причини: виникає при високих температурах, коли матеріал колодок може частково плавитися і прилипати до поверхні барабана. Це часто трапляється при перегріві або використанні неякісних матеріалів. Наслідки: нерівномірне гальмування, підвищений шум, пошкодження барабана та колодок, що вимагає негайної заміни.

5. Фретингове зношування (втомне зношування через мікрорухи). Ознаки: утворення тріщин і луцення на поверхні барабана або колодки через мікрорухи та вібрації. Причини: виникає через часті мікровібрації в зоні тертя під час експлуатації. Це призводить до утворення малих тріщин на поверхні контактних елементів і їх подальшого руйнування. Наслідки: швидке погіршення стану фрикційних елементів, підвищений знос, вібрації та шум при гальмуванні.

6. Корозійне зношування. Ознаки: розвиток іржі на барабані або колодках, що призводить до підвищеного зносу контактних поверхонь. Причини: Тривалий контакт з водою, сіллю або іншими агресивними речовинами (особливо в зимовий період). Поганий стан захисних покриттів або герметичність гальмівної системи також можуть сприяти розвитку корозії. Наслідки: прискорене зношування фрикційних матеріалів, поява нерівностей на барабані, зниження ефективності гальмування та ймовірність залипання колодок.

7. Хімічне зношування. Ознаки: поява дефектів на поверхні тертя через вплив агресивних хімічних речовин. Причини: взаємодія з мастильними матеріалами, хімічними речовинами або іншими рідинами, які потрапляють на поверхні тертя і негативно впливають на їх структуру. Наслідки:

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

руйнування матеріалу колодки або барабана, зниження фрикційних властивостей і ефективності гальмування.

8. Механічне зношування (втомне зношування через навантаження).
Ознаки: поява тріщин, луцення або деформації на поверхнях гальмівного барабана або колодки. Причини: постійні механічні навантаження, особливо при частому і різкому гальмуванні, що призводять до втомного руйнування матеріалів через їх перевантаження. Наслідки: висока ймовірність виникнення пошкоджень барабана або колодки, що може призвести до відмови гальмівної системи.

9. Зношування через відшарування матеріалу (деламінація). Ознаки: шарування фрикційного матеріалу колодки, яке може привести до втрати цілісності колодки. Причини: може бути наслідком поганої якості матеріалу або технологічних дефектів у виробництві колодок. Наслідки: різке зниження ефективності гальмівної системи, необхідність негайної заміни колодок.

Зношування у вузлі тертя "гальмівний барабан – колодка" має різні типи та причини. Важливо регулярно перевіряти стан гальмівних компонентів і проводити своєчасне технічне обслуговування, щоб уникнути небезпечних ситуацій, таких як втрата ефективності гальмування або вихід з ладу гальмівної системи.

Поверхня тертя у барабанних гальмах, а також контакт і розподіл тиску між гальмівним барабаном і колодками, є критично важливими для забезпечення ефективності гальмування. Розглянемо ці аспекти детальніше.

1. Поверхня тертя:

- Матеріал: гальмівні колодки виготовляються з фрикційних матеріалів, які можуть включати композити на основі органічних, металічних або керамічних компонентів. Ці матеріали мають високу тертя і забезпечують ефективне гальмування.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- Текстура: поверхня колодок і барабана має певну текстуру, яка може впливати на коефіцієнт тертя. Гладкі поверхні знижують тертя, тоді як рифлені або шорсткі поверхні забезпечують кращу адгезію.

- Зношування: Під час експлуатації поверхні тертя зношуються, що може змінювати їхню текстуру та впливати на гальмівні характеристики.

2. Контакт між колодками і барабаном.

- Початок контакту: при натисканні на гальмівну педаль гальмівні колодки притискаються до барабана. Контакт починається на невеликій ділянці, що призводить до початкового гальмівного моменту.

- Розширення контакту: у міру підвищення тиску колодки притискаються сильніше, а площа контакту збільшується. Цей процес не завжди є рівномірним через нерівності поверхонь або зміни в температурі.

3. Розподіл тиску.

- Нерівномірний розподіл: через геометрію колодок і барабана, а також через наявність конструктивних люфтів, розподіл тиску не є рівномірним. Це може призводити до неефективного гальмування і нерівномірного зношування колодок.

- Максимальний тиск: зазвичай, максимальний тиск виникає в центральній частині колодки, де вища ймовірність контакту з барабаном. Однак, через те, що барабан має круглу форму, можуть виникати точки з меншим тиском, що впливає на загальну ефективність.

- Динамічний розподіл: при гальмуванні під впливом динамічних навантажень (зміна швидкості, прискорення, гальмування) розподіл тиску може змінюватися. Це впливає на гальмівний момент і загальну ефективність гальм.

4. Термальні ефекти.

- Нагрівання: під час гальмування виникає тепло, яке розподіляється по поверхні тертя. Це може вплинути на коефіцієнт тертя, оскільки підвищення температури може змінювати фізичні властивості матеріалів.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- Теплове розширення: різні швидкості нагрівання колодок і барабана можуть призводити до деформацій, що в свою чергу може змінювати контактну площу і розподіл тиску.

5. Зношування та його вплив.

- Нерівномірне зношування: під впливом нерівномірного розподілу тиску колодки можуть зношуватися нерівномірно, що погіршує контакт і може призвести до втрати ефективності.

- Обслуговування: регулярна перевірка та заміна зношених колодок і барабанів необхідна для підтримки оптимальної роботи гальмівної системи.

Розуміння поверхні тертя, контакту та розподілу тиску у барабанних гальмах є важливим для забезпечення ефективності та безпеки гальмування. Нерівномірність цих параметрів може призводити до зниження ефективності гальм, підвищення ризику аварій та швидкого зношування компонентів гальмівної системи. Регулярне обслуговування та використання якісних матеріалів допоможуть зменшити ці ризики.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Передумови дослідження.

Гальмо – це механізм керування, встановлений на транспортному засобі для керування швидкістю транспортного засобу шляхом застосування гальмівного тиску до опорного колеса. Залежно від типу роботи гальма поділяються на гідравлічні, пневматичні, гідропневматичні та електричні. У випадку пневматичного гальма, яке зазвичай використовується на вантажівках, зусилля, прикладене водієм до педалі гальма, відкриває гальмівний клапан, щоб стиснене повітря проходило в гальмівну камеру, і повертає кулачковий вал, щоб привести в дію гальмівну колодку проти барабана, що обертається. Завдяки прикладеному гальмівному тиску кінетична енергія транспортного засобу перетворюється на теплову енергію опорного колеса. Енергія, що поглинається гальмом, залежить від типу руху рухомого тіла. Рух тіла може бути або чисто поступальним, або чисто обертальним, або поєднанням обох поступального й обертального.

Енергія, що відповідає цим рухам, називається кінетичною. Енергія, яка поглинається гальмом і перетворюється на тепло, повинна розсіюватися в навколишнє повітря, щоб уникнути надмірного підвищення температури гальмівної накладки. Підвищення температури залежить від маси гальмівного барабана, часу гальмування та здатності гальма відводити тепло. Найвищі допустимі температури, рекомендовані для різних матеріалів гальмівних накладок, наведені як: для шкіри, волокна та дерев'яного покриття від 65 до 70 °С, для азбесту та металевих поверхонь, які злегка змащуються, від 90 до 105 °С, для автомобільних гальм з азбестовим блоком. футеровки від 180 до 225°С [11].

Оскільки поглинена енергія (або виділене тепло) і швидкість зносу гальмівної накладки на конкретній швидкості залежать від нормального

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тиску між гальмівними поверхнями, тому це важливий фактор у конструкції гальм. Допустимий нормальний тиск між гальмівними поверхнями залежить від матеріалу гальмівної накладки, коефіцієнта тертя та максимальної швидкості, з якою має поглинатися енергія.

Матеріал, який використовується для виготовлення гальмівних накладок, повинен мати високий коефіцієнт тертя, що повинен залишатися постійним по всій поверхні при зміні температури, низьку швидкість зношування, високу термостійкість, високу тепловідвідну здатність, низький коефіцієнт теплового розширення, відповідну механічну міцність, і на нього не повинні впливати волога та масло [11].

Науковці наполегливо працюють над пошуком найкращої конструкції для швидкого розсіювання теплової енергії з метою підвищення продуктивності гальм. У наш час є багато літератури, яка обговорювалася щодо конструкції гальмівного барабана автомобіля та аналізу для покращення продуктивності гальма. Деякі з цих досліджень представлені нижче.

У дослідженні [13] для затвердження функціональності після модифікації фактичного гальмівного барабана перевірили міцність і здатність гальмівного барабана відводити тепло. Випробовуючи перехідну температуру, вони помітили, що температура зростає з кожним циклом. Це показало їм, що наданого часу охолодження недостатньо для охолодження барабана.

Щоб отримати точніший розподіл температури, вони визначили значення коефіцієнта конвекції (h) за допомогою аналітичного або експериментального прогнозування та включили його в модель. Вони перевірили конструкцію, порівнюючи максимальне отримане напруження, отримане в аналізі, зі стандартним допустимим значенням напруження. Вони виявили, що конструкція була безпечною, а гальмівний барабан функціонував належним чином за заданих умов навантаження.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

У дослідженні [7], вивчаючи порівняння структурного та теплового аналізу дискового гальма з використанням різних матеріалів, вони виявили, що сплав Al-Ni-Co та титановий сплав є хорошим матеріалом для гальмівного диска порівняно з чавуном та конструкційною сталлю.

У дослідженні [14] дійшли висновку, що окрім загального матеріалу, алюмінієва металева матриця (ks1275) також може бути використана як матеріал для барабанного гальма, оскільки це економічно, менша вартість і менший коефіцієнт ваги дає майже таке ж значення напружень та деформації в статичному аналізі та наданні хорошого розподілу тепла.

Визначення температури гальма є важливим для аналізу та проектування гальма гальмівної системи. Надмірні температури призведуть до зниження виробництва гальмівного моменту (зазвичай називається згасанням гальм) і можуть спричинити підвищений знос гальмівних накладок, збій гальмівної системи та пошкодження суміжних компонентів, таких як підшипники та шини [2].

2.2 Програмне забезпечення для досліджень.

Це дослідження зосереджено на існуючій конструкції та матеріалах барабанного гальма вантажівок та причепів, здатності до розсіювання тепла та пошуку рішень для покращення розсіювання тепла гальм шляхом використання різних матеріалів для гальм. Для побудови гальмівного барабана та колодки було використано Catia, а для аналізу гальмівного барабана використовується програмне забезпечення Ansys [15].

Розробка та аналіз гальм вимагає програмного забезпечення, яке має інструменти проектування та аналізу. CATIA та ANSYS є одними з комерційно доступних інженерних програм, які мають багато інструментів проектування та аналізу. Вони дозволяють будувати тверді моделі, аналізувати та моделювати придатність моделі шляхом застосування різних

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

навантажень. Для проектування вони зазвичай використовують інструмент CAD, а для аналізу у них є розв'язувач із інструментом методу кінцевих елементів.

Програмне забезпечення ANSYS використовується для проектування продуктів і напівпровідників, а також для створення симуляцій, які перевіряють довговічність продукту, розподіл температури, рух рідини та електромагнітні властивості. ANSYS, як і багато інших програм FE, також ділиться на три основні частини (процесори), які називаються препроцесором, процесором рішення та постпроцесором.

Препроцесор: для цього програмне забезпечення FEA зазвичай використовує CAD-представлення фізичної моделі та розбиває її на невеликі частини, які називаються кінцевими «елементами». Цей процес називається «сіткою». Чим вище якість сітка (сукупність елементів), тим краще математичне представлення фізичної моделі. Основне призначення елемента полягає в тому, щоб з'єднати вузли з передбачуваними математичними рівняннями на основі жорсткості між вузлами; тип використовуваного елемента часто залежить від проблеми, яку потрібно вирішити. Кожен елемент складається з 2 або більше «вузлів», які допомагають визначити його форму, а також передавати фізичні реакції від одного елемента до іншого. «Скінченність» у FEA походить від того факту, що існує відома кількість елементів у кінцево-елементній моделі. Розв'язувач додає індивідуальну поведінку кожного елемента, щоб передбачити поведінку всієї фізичної системи. Інші аспекти етапу попередньої обробки включають визначення властивостей матеріалу та умов навколишнього середовища, яким підлягатиме дизайн. Ці умови включають різні форми фізичних сил (навантаження, тиск, моменти тощо), термічні навантаження та умови (температура, провідність, конвекція тощо) та обмеження (фіксовані, закріплені, без тертя / симетричні тощо).

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Розв'язувач: ANSYS Workbench використовує 3 розв'язувачі ANSYS і автоматично вибирає найбільш відповідний або ефективний розв'язувач для поточної роботи. На додаток до лінійного / статичного, ANSYS Workbench виконує пов'язані типи аналізу (тепловий напруга, напруга-модальний, термічний напруга-модальний), а також деякі обмежені нелінійні типи аналізу (термічний із температурно-залежними властивостями матеріалу та конвекцією, геометричний/контактний). з контактом, що підтримує відрив). Усі налаштування розв'язувача та ітераційні переходи від одного кроку до наступного виконуються автоматично.

Постобробка: використовується для створення графічних зображень, які показують розподіл напружень, деформацій, температур та інших аспектів моделі. Інтерпретація цих оброблених результатів є ключем до виявлення областей потенційного занепокоєння (слабких місць у моделі), областей матеріальних відходів (ділянок моделі, які несуть незначне навантаження або не мають навантаження) або цінної інформації про інші робочі характеристики моделі (термічні, модальний), який інакше не був би відомий, доки не буде створено та випробувано фізичну модель (прототип) [15].

2.3 Методика випробувань на зношування.

Для експерименту був використаний лінійний план для прогнозування швидкості зношування чавуну та матеріалів ММС.

У цьому дослідженні використовувався факторний дизайн типу P^n , де (P) відповідає кількості рівнів і (n) означає кількість факторів. У цьому дослідженні прикладене навантаження в Ньютонах, швидкість ковзання в м/с і шлях тертя ковзання в метрах використовується як три коефіцієнти, і передбачається, що кожен фактор має два рівні. Отже, загальна сума кількості пробних запусків для кожного матеріалу становить вісім.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість зносу матеріалу можна виразити наступним чином рівняння регресії [10]:

$$W = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_1X_2 + a_5X_2X_3 + a_6X_3X_1 + a_7X_1X_2X_3, \quad (2.1)$$

де a_0 - змінна відгуку на базовому рівні, X_1, X_2, X_3 - змінні відгуку, пов'язані з прикладеним навантаженням, швидкістю ковзання та шляхом ковзання, a_{1-7} - коефіцієнти взаємодії між X_1, X_2, X_3 .

Метод «штифт-на-диску» (рис. 2.1) це тест, який вивчає тертя та зношування в умовах ковзання. Він використовується для відтворення лінійної контактної макрогеометрії зразка та контрзразка. Метод «штифт-на-диску» дає змогу визначити середній коефіцієнт тертя між парою тертя та оцінити швидкість зношування поверхонь тертя. Перший параметр вимірюється безпосередньо під час експерименту як функція часу або кількості обертів диска, а другий параметр визначається на основі зміни (втрати) ваги зразка. Необхідні дані отримують шляхом зважування зразка до і після випробування. Звичайно, зразок необхідно ретельно очистити перед зважуванням за допомогою таких продуктів, як ацетон або промивний бензол. В іншому випадку результати можуть мати серйозні недоліки.



Рисунок 2.1 – Схема випробувань на зношування: штифт-на-диску:

1 – штифт, 2 – диск.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Випробування на знос проводилися на дисковій машині Ducom, на машині встановлено чавунний диск. Підкладковий матеріал у вигляді шпильки закріплений на тримачі, який має положення для прикладання навантаження. Ваги з точністю 0,1 мг з максимальним зважуванням 200 г були використані для визначення ваги чавунного диска та диска ММС. Апарат підключено до контролеру і комп'ютеру для керування та вимірювання швидкості ковзання, прикладеного навантаження та часу ковзання. Диск зважували до та після кожного випробування, а втрату ваги використовували як міру зносу.

Трибометр DUCOM POD-4.0 (рис. 2.2) – це високоточний пристрій для випробувань на тертя та знос, який широко використовується для досліджень у різних галузях, таких як машинобудування, авіація, автомобільна промисловість і матеріалознавство. Він призначений для проведення випробувань відповідно до міжнародних стандартів, таких як ISO, ASTM та DIN, і забезпечує високу точність та повторюваність результатів [16].



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд трибометра DUCOM POD-4.0.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Основні характеристики трибометра DUCOM POD-4.0:

1. Стандартизація: Випробування можуть проводитися відповідно до стандартів ISO, ASTM і DIN, що гарантує дотримання міжнародних вимог до якості та надійності результатів.

2. Висока точність: Пристрій забезпечує вимірювання з високою точністю, що дозволяє проводити детальні дослідження матеріалів в умовах тертя та зносу.

3. Повторюваність результатів: Висока стабільність вимірювань дозволяє відтворювати результати тестів навіть за різних умов експлуатації, що важливо для наукових досліджень і розробки нових матеріалів.

4. Дослідження на тертя та знос: Трибометр призначений для моделювання різних умов тертя, зокрема контактів між металами, полімерними матеріалами, композитами та іншими матеріалами. Він може вимірювати не тільки коефіцієнт тертя, але й швидкість зносу поверхонь під час випробувань.

5. Конфігурації випробувань: DUCOM POD-4.0 може працювати у різних конфігураціях, таких як "кулька на диск" (ball-on-disc) або "штифт на диск" (pin-on-disc), що дозволяє досліджувати матеріали за різних умов контакту і тертя.

6. Автоматизація: Сучасне програмне забезпечення дозволяє легко керувати процесом випробувань, збирати дані та аналізувати їх у реальному часі.

Застосування:

- Автомобільна промисловість: Тестування матеріалів для гальмівних систем, підшипників, двигунів і трансмісій.

- Машинобудування: Вивчення зносостійкості та тертя в компонентів обладнання, які піддаються інтенсивному тертю.

- Авіація: Тестування матеріалів для деталей літаків і вертольотів, які працюють у складних умовах.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

- Матеріалознавство: Дослідження нових композитів, сплавів, керамічних і полімерних матеріалів.

Трибометр DUCOM POD-4.0 є надійним інструментом для лабораторних випробувань і може забезпечити точні дані для розробки нових матеріалів та оптимізації існуючих технологічних процесів.

Проведені випробування на знос здійснюється зміною прикладеного навантаження та підтриманням швидкості та відстані ковзання незмінними. Вищеописана процедура повторюється для різних швидкостей і відстаней ковзання. Ті самі тести були повторені для диску з матеріалу ММС. Дослідити механізми зносу та характеристики шару перенесення, зношені уламки та сліди зносу були проаналізовані за допомогою оптичних мікрофотографій.

Лабораторні аналітичні ваги (рис. 2.3) серії FA повністю відповідають «I» класу точності (спеціальному класу) згідно ДСТУ EN 45501:2007 та «II» класу точності відповідно ГОСТ 24104-2001 [17].

Особливості: одиниці виміру: грами (g), унції (oz), карати (ct); вагова платформа з нержавіючої сталі; інтерфейс RS232 з можливістю підключення до принтера або ПК; яскравий дисплей з підсвічуванням; зовнішнє калібрування. Технічні характеристики моделі FA2004 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики моделі FA2004

Дискретність, мг	0,1
Повторюваність, мг	0,2
Лінійність, мг	0,5
Час відповіді, с	≤4
Діаметр платформи, мм	80
Діапазон тарування	повний
Габаритні розміри, мм	340 x 215 x 350
Маса нетто, кг	7,5



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд аналітичних ваг FA2004.

Параметри електроживлення: підключення через блок живлення дає на виході 5В DC, 600 мА до мережі 100-240В, 50 Гц. Інтерфейс – RS232 двонаправлений.

2.4 Матеріали та початкові дані для досліджень.

Для визначення навантажень та аналізу матеріалів гальмівного вузла скористаємось технічними даними напівпричіпу «Schmitz S.CS Coil». Спеціальний трьохвісний напівпричіп із боковим, заднім та вертикальним завантаженням об'ємом до 90 м³, з вантажопідйомністю 31000 кг., та габаритними розмірами (ДхШхВ) 13620х2550х4000 мм., що призначений для транспортування важких рулонних вантажів. Навантаження на кожну вісь SAF складає: 9000 кг [3].

Геометрія гальмівного барабана (рис. 2.4) та колодки цього дослідження визначена, а її параметри наведені в таблиці 2.2.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

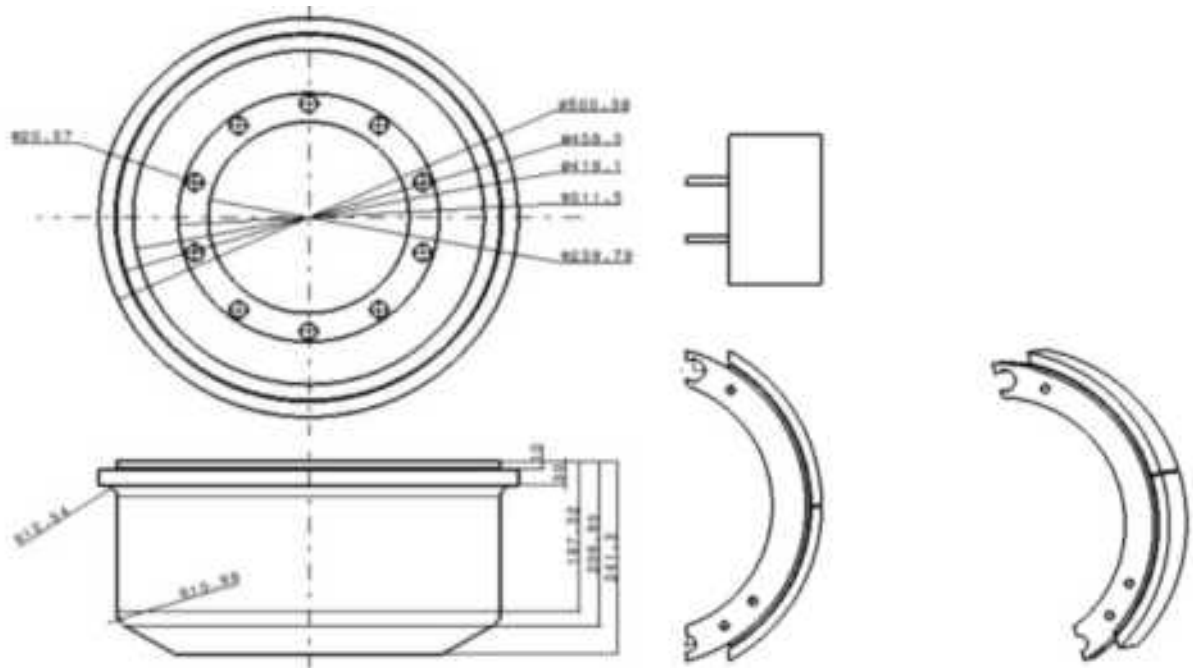


Рисунок 2.4 – Конструкція гальмівного барабану та колодки.

Таблиця 2.2 – Параметри конструкції гальмівного барабана

Параметр	Значення
V_{max} (км/год)	120
Діаметр гальмівної поверхні (мм)	420
Загальна глибина (мм)	241,3
Плоска гальмівна поверхня (мм)	187,45
Діаметр кола болтів (мм)	285,75
Пілотний діаметр (мм)	239,776
Товщина задньої пластини (мм)	14,22
Отвори під болти (мм)	10 / 20,574

Чотири матеріали, обрані для аналізу: вуглецева сталь, сплав Al, композит з металевою алюмінієвою матрицею (Al –MMC) і чавун. Вуглецева сталь і чавун зазвичай використовуються як гальмівні матеріали. Їх властивість показано в таблиці 2.3 [4-7] і [18].

Таблиця 2.3 – Гальмівні матеріали та їх властивості.

Властивості	Матеріали			
	Чавун (СЧ25)	Вуглецева сталь (35)	Алюміній сплав (ADC12)	Al –MMC (A-356+SiC)
Модулі Юнга (МПа)	100000	210000	7100	98000
Щільність (кг/м ³)	7113,73	7850	2770	2820,18
Питома теплоємність (Дж/кг К)	401,664	420	921	828,432
Теплопровідність (Вт/мм ⁰ С)	0,04721	0,036	0,154	0,1478

Для виготовлення гальмівних барабанів часто використовують вуглецеві сталі середньої та високої міцності, оскільки вони повинні бути стійкими до високих температур, тертя та зносу. Однією з популярних марок вуглецевої сталі для гальмівних барабанів є сталь 35 (С35 по ЄС), яка належить до групи конструкційних вуглецевих сталей. Хімічний склад сталі наведено в таблиці 2.4 згідно ДСТУ 7809 [19].

Таблиця 2.4 – Хімічний склад сталі 35 у відсотковому співвідношенні

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,3- 0,4	0,17- 0,37	0,5- 0,8	≤ 0,3	≤ 0,040	≤ 0,035	≤ 0, 25	≤ 0,30	≤ 0,08

Характеристики сталі 35:

- Вміст вуглецю: близько 0,35%, що робить її достатньо міцною, але при цьому не надто крихкою.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					49

- Міцність і твердість: дозволяє витримувати великі механічні навантаження.

- Термічна обробка: сталь 35 може піддаватися термічній обробці для підвищення її механічних властивостей, таких як твердість і зносостійкість.

- Теплопровідність: ця сталь добре переносить високі температури, що виникають при гальмуванні, і має достатньо високу теплопровідність для розсіювання тепла.

Для виготовлення гальмівних барабанів часто використовують алюмінієві сплави через їхню легкість, високу теплопровідність та корозійну стійкість. Однією з поширених марок алюмінієвих сплавів, що підходять для таких умов, є силумін (сплави на основі алюмінію з кремнієм), зокрема АК12 (AlSi12) або ADC12 по ЄС, таблиця 2.5.

Характеристики сплаву АК12 [19]:

1. Склад: Містить близько 11...13 % кремнію, що підвищує твердість і зносостійкість сплаву.

2. Легкість: Алюміній є легким матеріалом, що зменшує загальну вагу транспортного засобу.

3. Висока теплопровідність: Цей сплав має чудову теплопровідність, що допомагає ефективно розсіювати тепло, яке виникає під час гальмування.

4. Корозійна стійкість: Алюміній стійкий до корозії, що важливо для деталей, які піддаються впливу вологи та хімічних реагентів на дорогах.

5. Механічна міцність: Сплав має достатню міцність для витримування навантажень, що виникають під час гальмування, а також забезпечує тривалий термін служби.

6. Зносостійкість: Завдяки вмісту кремнію підвищується зносостійкість матеріалу, що важливо для компонентів, що постійно піддаються тертю.

Зазвичай гальмівні барабани з алюмінієвих сплавів комбінуються з чавунними або сталевими робочими поверхнями для досягнення оптимальних фрикційних і механічних властивостей.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Хімічний склад АК12.

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Zr	Mg	Zn	Домішки
до 1,5	10-13	до 0,5	до 0,1	84.3- 90	до 0,6	до 0,1	до 0,1	до 0,3	всього 2,7

Однією з найпоширеніших марок чавуну для гальмівних барабанів є СЧ20 та СЧ25 (сірий чавун), хімічний склад наведено в таблиці 2.6 [19].

Таблиця 2.6 – Хімічний склад СЧ25.

C	Si	Mn	S	P
3.2 - 3.4	1.4 - 2.2	0.7 – 1	до 0.15	до 0.2

(Al–MMC) – це композитний матеріал, що застосовується в гальмівних системах, зокрема для виготовлення гальмівних колодок і накладок. Цей композит належить до класу фрикційних матеріалів, які використовуються для створення стійких до зносу поверхонь, що забезпечують ефективне гальмування при різних умовах експлуатації.

Диск MMC (рис. 2.5, б) був виготовлений методом лиття із перемішуванням. Використаний алюмінієвий сплав А-356 як матриця та 25% частинок карбіду кремнію розміром 43 мкм як армування. Сплав був розплавлений в електромережі печі до температури 750 °С. Склад алюмінієвого композиту наведено в таблиці 2.7 [18].

Коли він досягає розплавленого стану, у розплавлений метал вводять мішалку, що приводиться в рух двигуном, і утворюється вихор. Розраховану (25 % за вагою) кількість попередньо нагрітих частинок SiC рівномірно додавали і перемішували. Композитну суспензію заливають у попередньо розігріту чавунну форму. Затверділий вилівок був видалений і підданий

термообробці Т6. Виливок був закінчений до розміру зовнішнього діаметра, внутрішнього діаметра та товщини 180 мм, 110 мм і 5 мм відповідно.

Чавунний диск (рис. 2.5, а) виготовлений із гальмівного барабана вантажного автомобіля. Внутрішній діаметр, зовнішній діаметр і товщина становлять 180 мм, 140 мм та 4 мм відповідно.

Поверхня оброблена до середнього значення шорсткості 1,5 мкм, що збігається зі значенням шорсткості ковзної поверхні реального комерційного гальмівного барабану.

Таблиця 2.7 – Хімічний склад Al–MMC.

Al	Si	Ag	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe
90-92	6-7,5	0,45	0,24	0,34	0,25	0,35	0,5



а) б) в)

Рисунок 2.5 – Зразки для випробувань на зношування:

а – диск з чавуну, б – диск з MMC, в – штифт з гальмівної накладки.

Промисловий матеріал гальмівної накладки використовувався для виготовлення штифта для тесту на знос. Було обрано базову колодку напівпричепа BPW/SAF/FRUEHAUF/KASSBOHRER 420x180. Штифт оброблений до діаметру стрижня 10 мм, як показано на рис. 2.5, в. Поверхня відполірована наждачним папером А320. Поверхня очищається перед початок кожного експерименту.

3. АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ВУЗЛА ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИЙ БАРАБАН – КОЛОДКА.

3.1 Аналіз методом кінцевих елементів.

Більшість деталей і вузлів надто складні, щоб зробити їх точно, не кажучи вже про швидкість, без використання комп'ютера та відповідного програмного забезпечення для аналізу. Метод скінченних елементів (FEM) використовувався як інструмент для комерційного вирішення інженерних проблем у промисловому застосуванні. Комерційне програмне забезпечення має інструмент FEA, наприклад ANSYS, ABAQUS, FLUENT та Comsol Multiphysic тощо.

Аналіз кінцевих елементів (FEA) — це математичне представлення фізичної системи, що складається з деталі/вузла (моделі), властивостей матеріалу та відповідних граничних умов (разом іменуються попередньою обробкою), розв'язання цього математичного представлення (розв'язання), і вивчення результатів цього рішення після обробки [20].

3.1.1 Структурний аналіз гальмівного барабана.

1) Імпорт моделі:

На етапі попередньої обробки FEM гальмівний барабан і геометрія колодки були імпортовані з CATIA v-5 у верстак ANSYS14.5, як показано на рисунках 3.1 і 3.2 відповідно.

2) Навантаження та фіксована опора:

Щоб вивчити характеристики структурного навантаження матеріалів гальма, було визначено прикладене навантаження та опору. Гальмовий тиск 1,5 МПа прикладається до поверхні гальмівного барабана та гальмівної

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

накладки, як показано на рис. 3.3 і 3.4 відповідно. Рис. 3.5 і 3.6 ілюструє фіксовану опору.

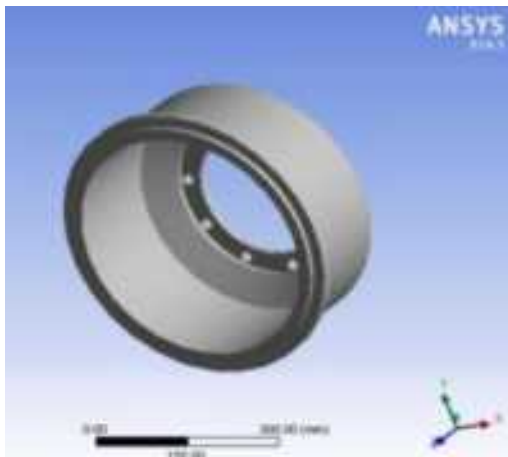


Рисунок 3.1 – Модель гальмівного барабану

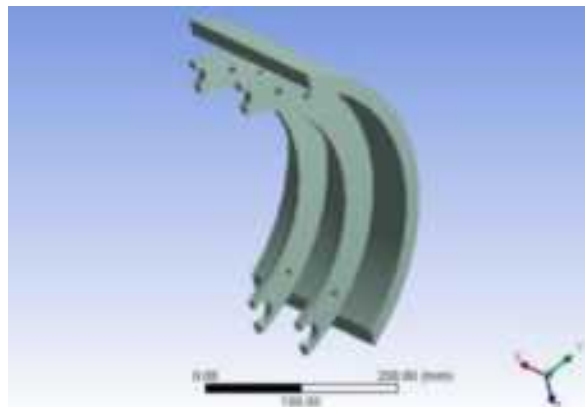


Рисунок 3.2 – Модель гальмівної колодки

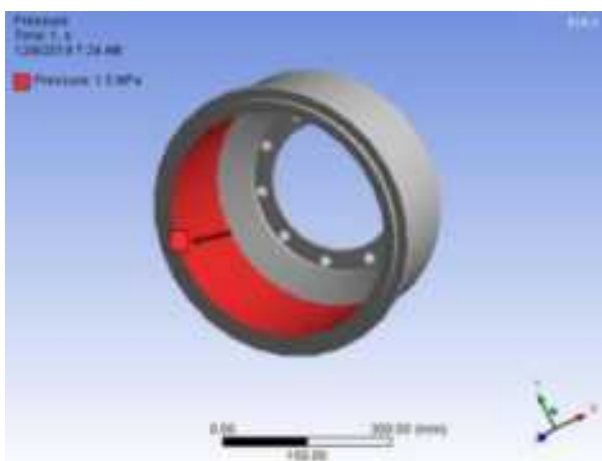


Рисунок 3.3 – Навантаження на барабан 1,5 МПа

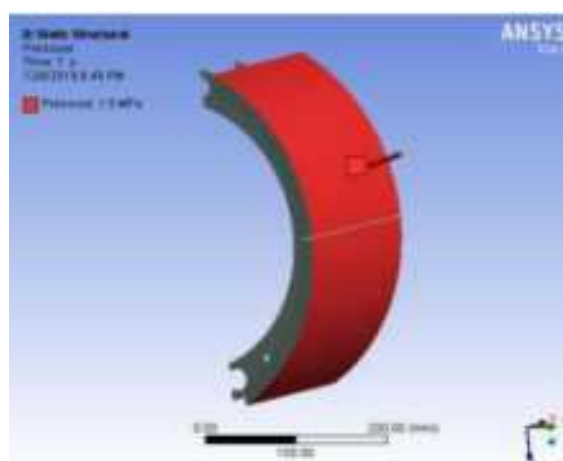


Рисунок 3.4 – Навантаження 1,5 МПа на колодку

3) Механізм:

Процес представлення фізичної області за допомогою скінченних елементів називається сіткою, а отриманий набір елементів відомий як сітка скінченних елементів. З'єднання гальмівного барабана показано на рис. 3.7.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Тип сітки: чотиригранна; кількість вузлів: 41273; кількість елементів: 23051.

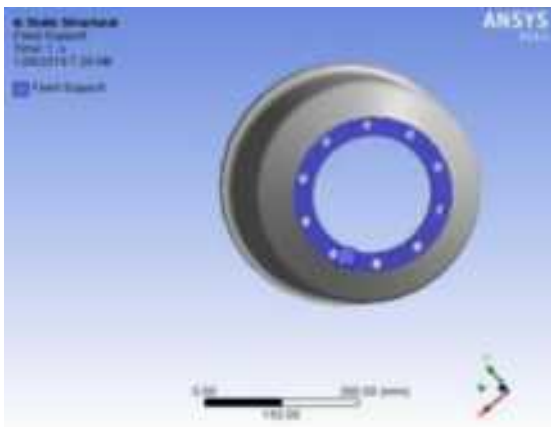


Рисунок 3.5 – Нерухома опора гальмівного барабана

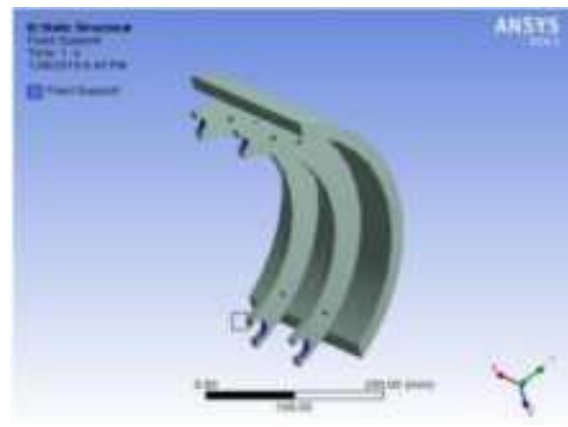


Рисунок 3.6 – Фіксована опора гальмівної колодки

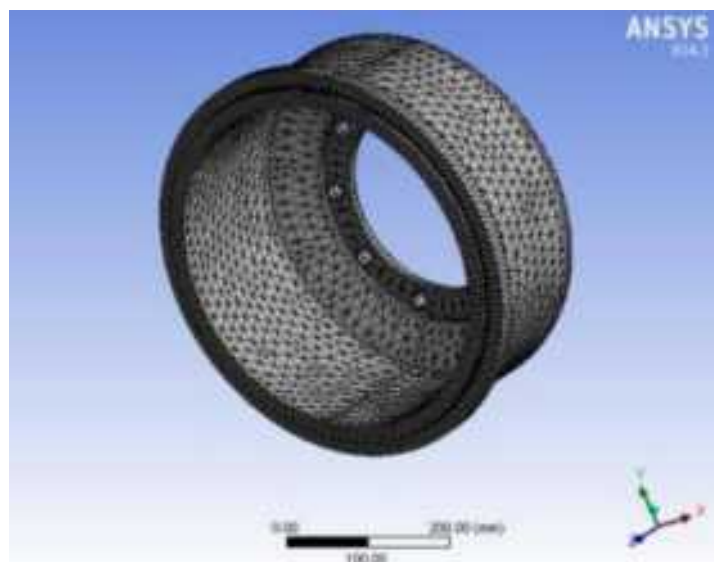


Рисунок 3.7 – Сітка скінченних елементів гальмівного барабана

Структурний аналіз гальмівного барабана з вуглецевої сталі.

Барабанне гальмо з вуглецевої сталі показало максимальну загальну деформацію, максимальні еквівалентні (фон-Мізеса) напруження і максимальна еквівалентна пружна деформація на поверхні барабана, виділена червоним кольором, кожна має величину 0,020502 мм, 18,783 МПа та $8,9446e^{-5}$ мм/мм відповідно. Зона отворів під болти барабана має меншу

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

деформацію, напруження та деформацію, що показано синім кольором. Деталі показано на рис. 3.8 – 3.10.

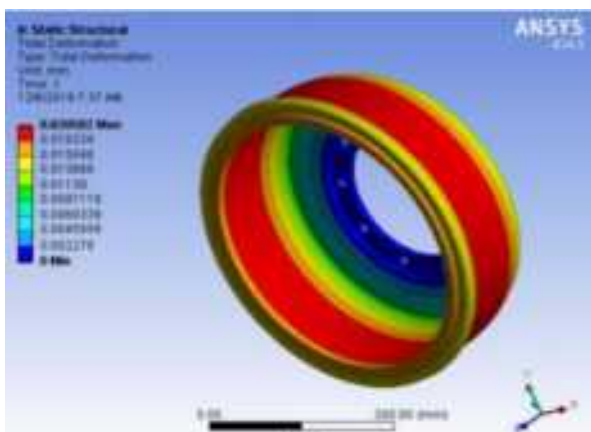


Рисунок 3.8 – Загальна деформація барабана

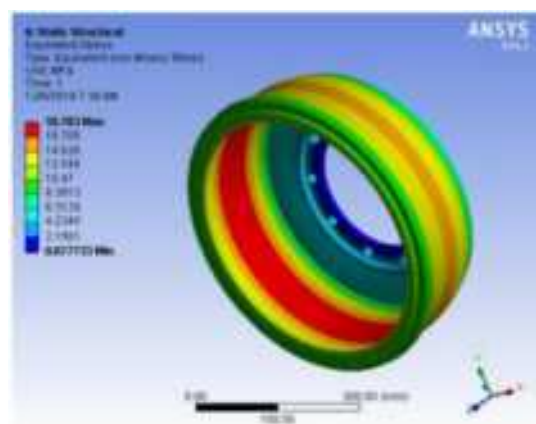


Рисунок 3.9 – Напруження барабана

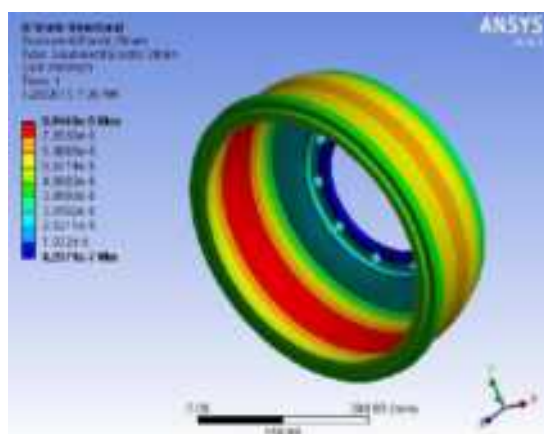


Рисунок 3.10 – Еквівалентна пружна деформація.

Структурний аналіз гальмівного барабана з алюмінієвого сплаву.

Гальмівний барабан з алюмінієвого сплаву показав максимальну загальну деформацію, максимальні еквівалентні (фон-Мізеса) напруження і максимальна еквівалентна пружна деформація на лицьовій стороні барабана, що показано червоним кольором і мінімальна деформація, мінімальні еквівалентні напруження (фон-Мізеса) та мінімальна еквівалентна пружна деформація в області отворів для болтів барабана, що показано синім

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

кольором. На рис. 3.11 – 3.13 показано деталі деформації, напружень та пружної деформації гальмівного барабана з алюмінієвого сплаву.

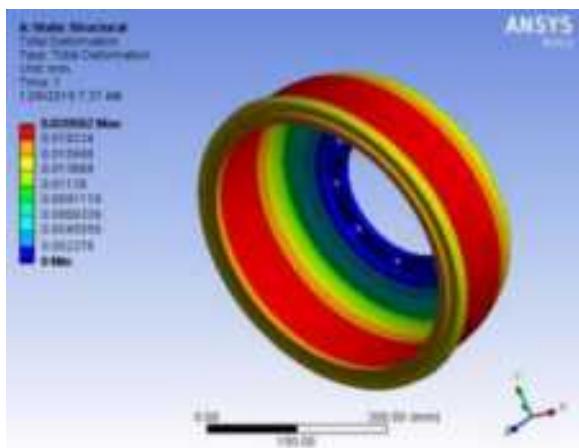


Рисунок 3.11 – Загальна деформація барабана

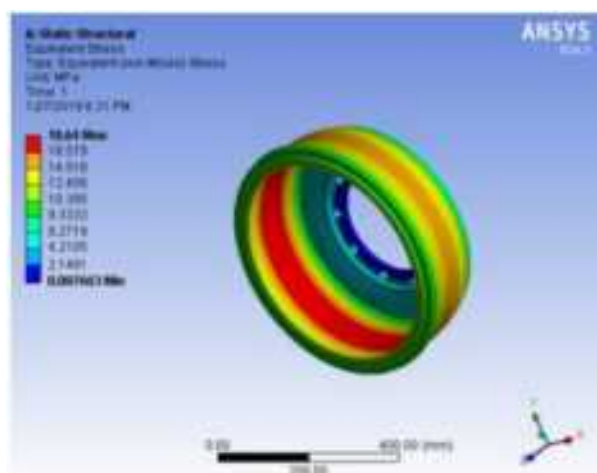


Рисунок 3.12 – Напруження барабана з алюмінієвого сплаву.

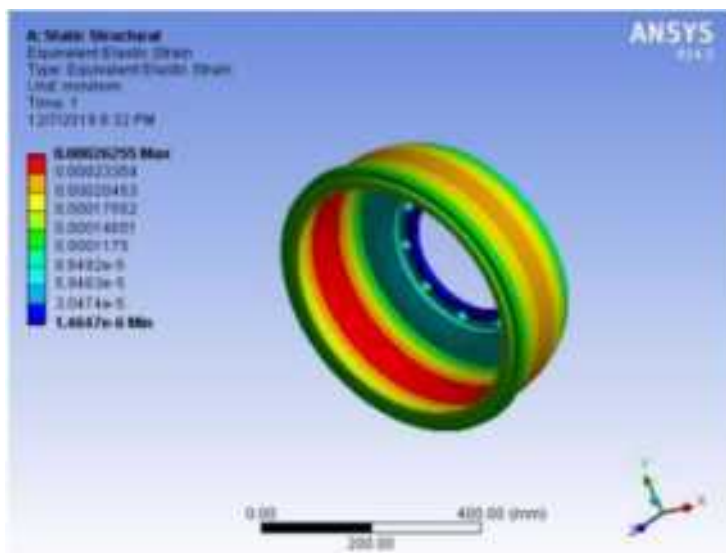


Рисунок 3.13 – Еквівалентна пружна деформація барабана з алюмінієвого сплаву.

Структурний аналіз композиційного гальмівного барабана Al Metal Matrices. Композитний гальмівний барабан Al Metal Matrices (Al-MMC) продемонстрував максимальну загальну деформацію 0,044231 мм, максимальне та мінімальне еквівалентне напруження (фон-Мізеса) 18,64 та 0,087663 МПа відповідно та максимальну і мінімальну еквівалентну пружну

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

деформацію $0,00019021$ мм/мм і $1,0611e-6$ мм/мм відповідно. На рис. 3.14 – 3.16 показано деформацію, напруження та еквівалентну пружну деформацію композитного гальмівного барабана Al Metal Matrices.

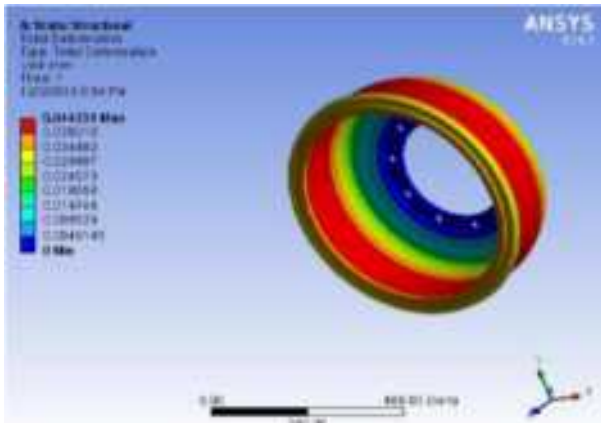


Рисунок 3.14 – Загальна деформація барабана Al-MMC.

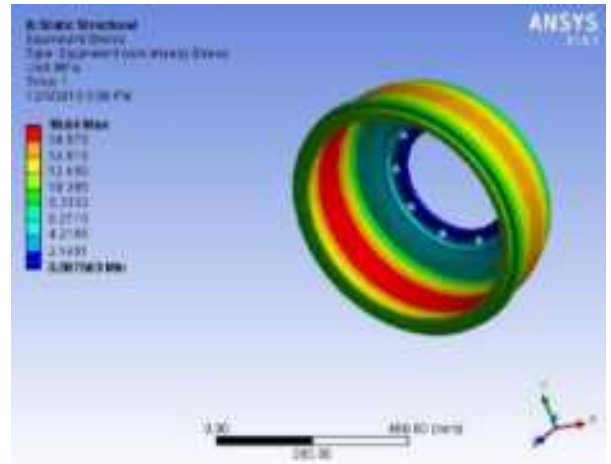


Рисунок 3.15 – Напруження барабана Al-MMC.



Рисунок 3.16 – Еквівалентна пружна деформація барабана Al-MMC.

Структурний аналіз чавунного гальмівного барабана.

Чавунний гальмівний барабан продемонстрував максимальну загальну деформацію $0,043054$ мм, максимальні та мінімальні еквівалентні напруження (фон-Мізеса) $18,783$ та $0,077733$ МПа відповідно та максимальну мінімальну еквівалентну пружну деформацію $0,00018784$ мм/мм та $9,0238e^{-7}$ мм/мм відповідно. На рис. 3.17 – 3.19 показано деформацію, напруження та пружну деформацію чавунного гальмівного барабана.

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

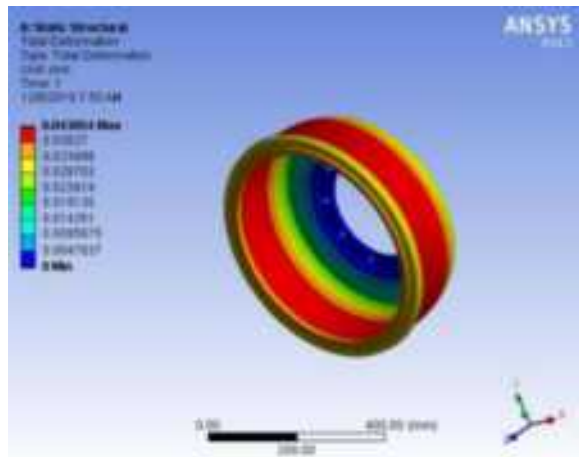


Рисунок 3.17 – Загальна деформація чавунного гальмівного барабана.

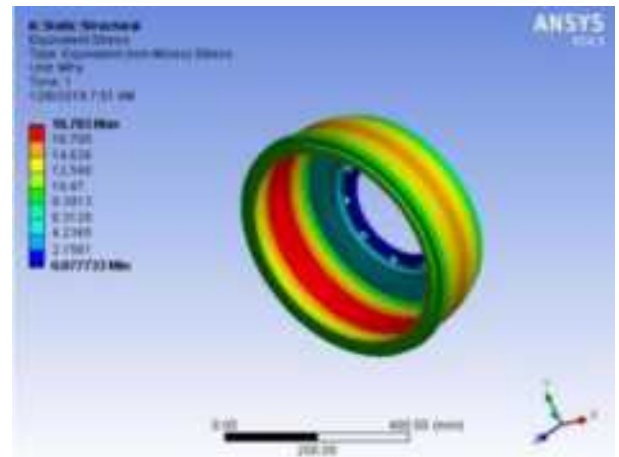


Рисунок 3.18 – Напруження чавунного гальмівного барабана.

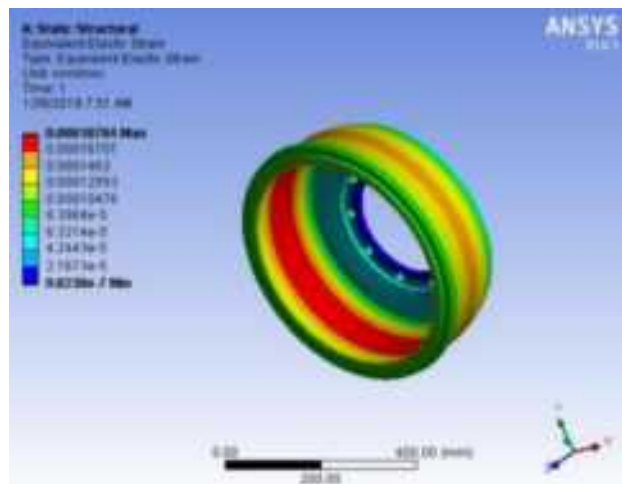


Рисунок 3.19 – Еквівалентна пружна деформація чавунного гальмівного барабана.

На рис. 3.8–3.19 показано, що алюмінієвий сплав має вищу деформацію, ніж інші три матеріали, за однакового прикладеного випробувального тиску 1,5 МПа, тоді як алюмінієво-металевий матричний композит (ММС) і чавун показали помірну деформацію, тоді як вуглецева сталь має нижчу деформацію, ніж інші три матеріали. Підсумок проілюстровано в таблиці 3.1.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Резюме структурного аналізу гальмівного барабана

Матеріал гальма	Властивості		
	Максимальне напруження (МПа)	Максимальна деформація (мм/мм)	Загальна деформація (мм)
Вуглецева сталь	18,783	8,94e-05	0,020502
Алюмінієвий сплав	18,64	2,63e-04	0,061051
Композит Al-ММС	18,64	1,90e-04	0,044231
Чавун	18,783	1,88e-04	0,043054

З іншого боку, вуглецева сталь і чавун мали вищі показники напруження, в той час як Al і композит з металевою матрицею Al мали відносно нижчий розподіл напружень. Підсумок наведено в таблиці 3.1. Алюмінієвий сплав має вищу деформацію, ніж інші три матеріали, тоді як вуглецева сталь має меншу деформацію. Підсумок наведено в таблиці 3.1.

3.1.2 Структурний аналіз гальмівної колодки.

Було визначено розмір елемента та тип сітки, а гальмівну колодку було створено, як показано на рис. 3.20. Статистика вузлів та елементів така:

Тип сітки: чотиригранна; кількість вузлів: 16738; кількість елементів: 8916.

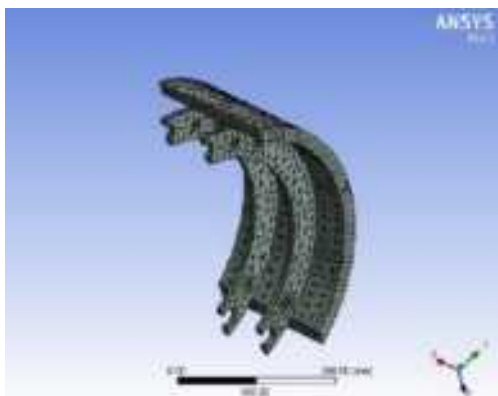


Рисунок 3.20 – Скінченно елементна модель гальмівної колодки

Структурний аналіз гальмівної колодки з вуглецевої сталі.

Гальмівна колодка з вуглецевої сталі показала максимальну загальну деформацію, еквівалентні (фон-Мізеса) напруження та еквівалентну пружну деформацію 0,058955 мм, 238,3 МПа та 0,0011348 мм/мм відповідно, що виділено червоним кольором, і мінімальну деформацію, еквівалентні (фон-Мізеса) напруження і мінімальну еквівалентну пружну деформацію 0,27163 МПа і $2,5266 \cdot 10^{-6}$ мм/мм відповідно, що зазначено синім кольором. На рис. 3.21 – 3.23 показано деформацію, напруження та пружну деформацію гальмівної колодки з вуглецевої сталі.

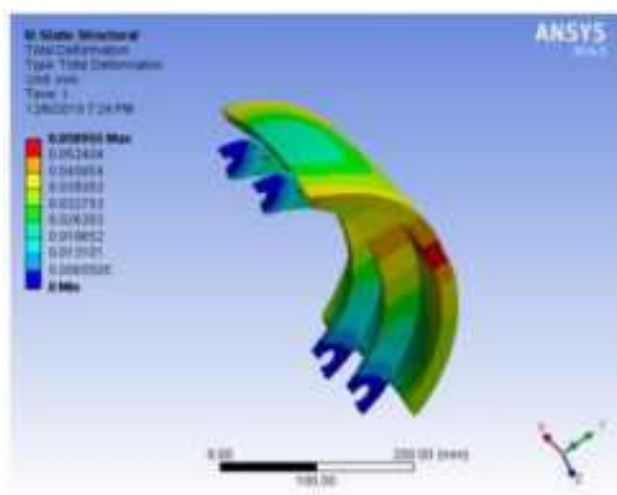


Рисунок 3.21 – Загальна деформація колодки з вуглецевої сталі.

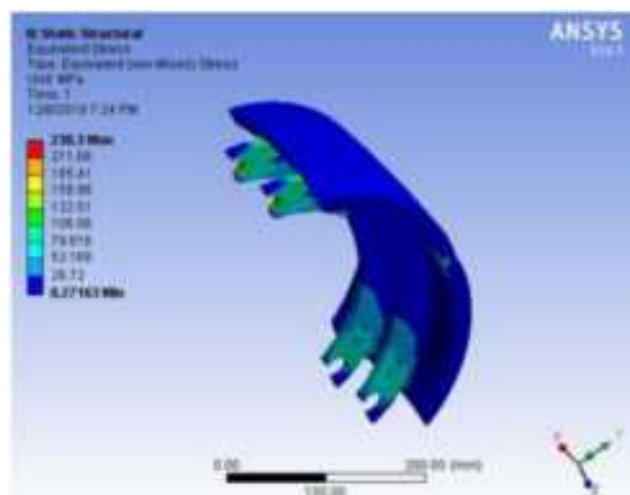


Рисунок 3.22 – Напруження колодки з вуглецевої сталі.

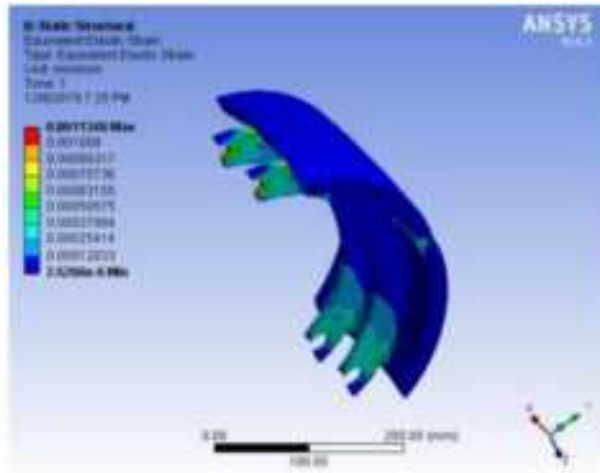


Рисунок 3.23 – Еквівалентна пружна деформація колодки з вуглецевої сталі.

Структурний аналіз гальмівної колодки з алюмінієвого сплаву. Гальмівна колодка з алюмінієвого сплаву показала максимальну загальну деформацію 0,17312 мм, максимальні та мінімальні еквівалентні напруження (фон-Мізеса) відповідно 229,68 і 0,28859 МПа, а також максимальну і мінімальну еквівалентну пружну деформацію 0,003235 мм/мм і $7,2523 \cdot 10^{-6}$ мм/мм відповідно. На рис. 3.24 – 3.26 показано деформацію, напруження та пружну деформацію гальмівної колодки з алюмінієвого сплаву.

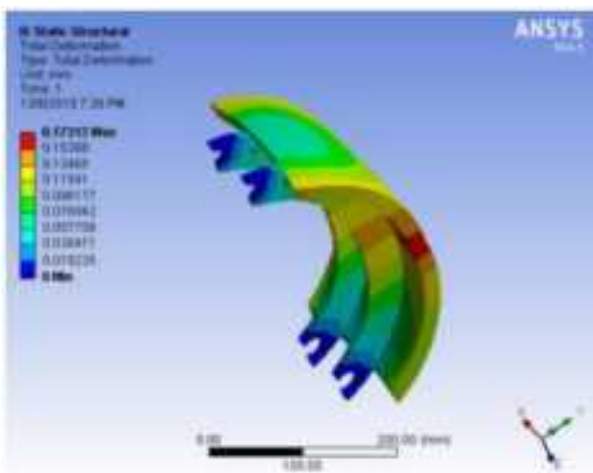


Рисунок 3.24 – Загальна деформація колодки з алюмінієвого сплаву.

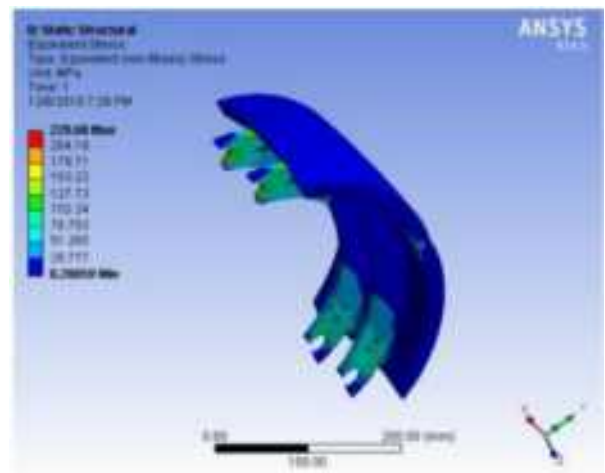


Рисунок 3.25 – Напруження колодки з алюмінієвого сплаву.

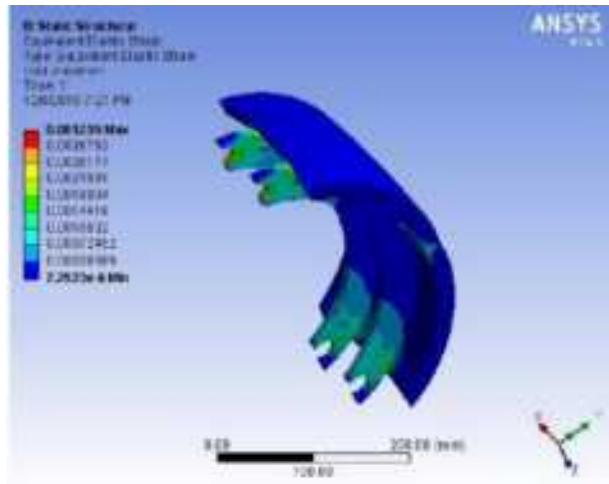


Рисунок 3.26 – Еквівалентна пружна деформація колодки з алюмінієвого сплаву.

Структурний аналіз гальмівної колодки Al-MMC.

Гальмівна колодка Al-MMC показала максимальну загальну деформацію 0,12542 мм, максимальне та мінімальне еквівалентне (фон-Мізеса) напруження 229,68 та 0,28859 МПа відповідно та максимальне мінімальне еквівалентне пружне напруження 0,0023437 мм/мм та $5,2542e^{-6}$ мм/мм відповідно. На рис. 3.27 – 3.29 показано деформацію, напруження та пружну деформацію гальмівної колодки Al-MMC.

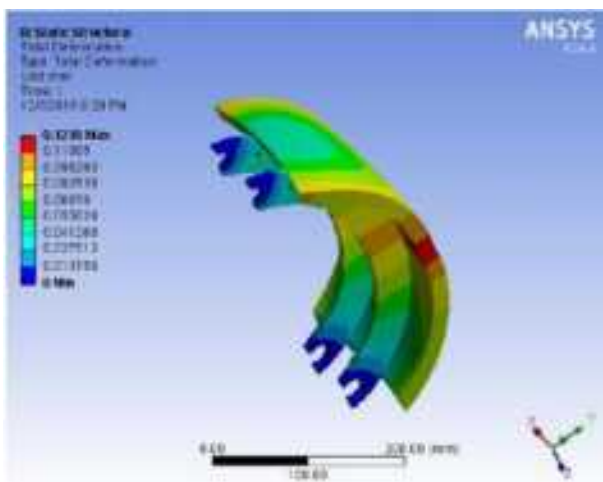


Рисунок 3.27 – Загальна деформація гальмівної колодки Al-MMC.

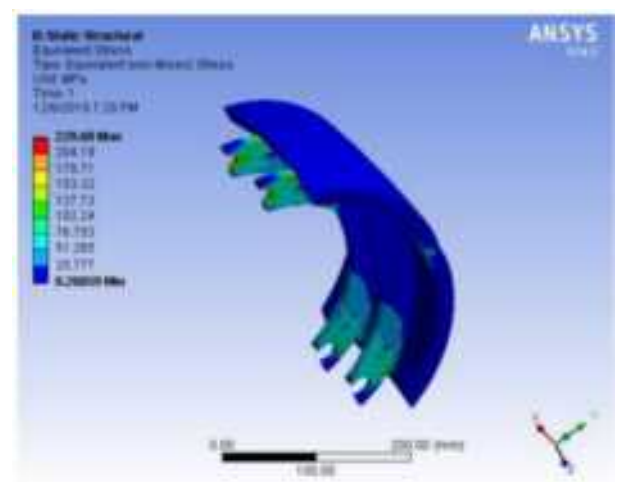


Рисунок 3.28 – Напруження гальмівної колодки Al-MMC.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

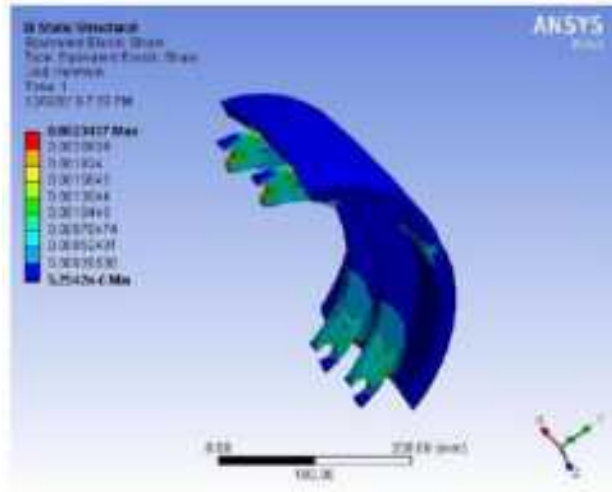


Рисунок 3.29 – Еквівалентна пружна деформація гальмівної колодки Al-ММС.

Структурний аналіз чавунної гальмівної колодки.

Чавунна гальмівна колодка показала максимальну загальну деформацію 0,1238 мм, максимальну та мінімальні еквівалентні напруження (фон-Мізеса) 238,3 та 0,27163 МПа відповідно та максимальну і мінімальну еквівалентну пружну деформацію 0,002383 мм/мм та $5,3058e^{-6}$ мм/мм відповідно. На рис. 3.30 – 3.32 показано деформацію, напруження та пружну деформацію чавунної гальмівної колодки.

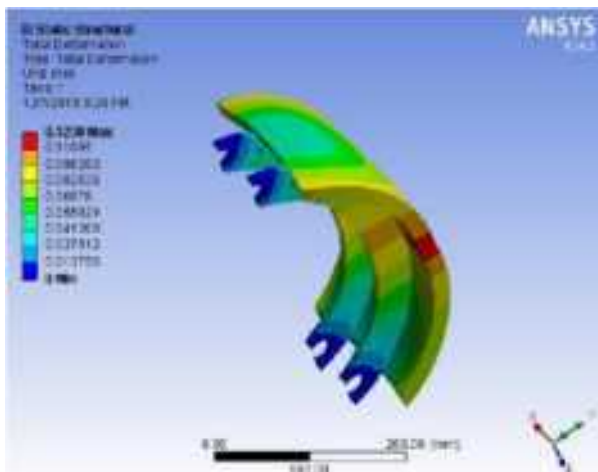


Рисунок 3.30 – Загальна деформація чавунної гальмівної колодки.

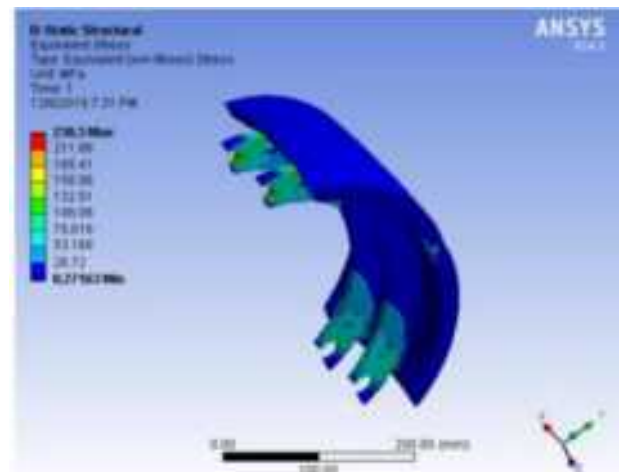


Рисунок 3.31 – Напруження чавунної гальмівної колодки.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

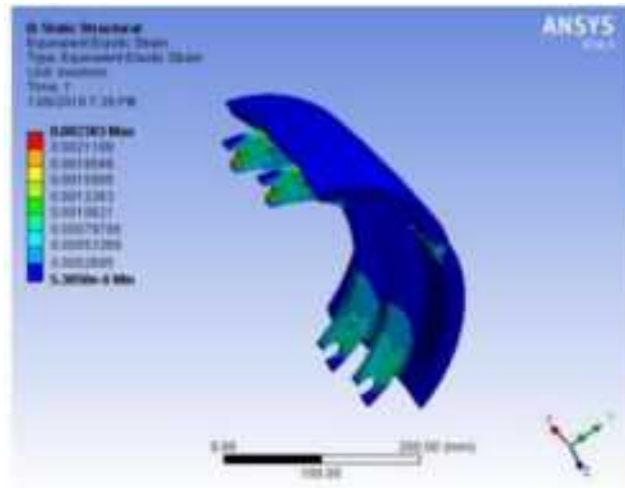


Рисунок 3.32 – Еквівалентна пружна деформація чавунної гальмівної колодки.

Результат структурного аналізу гальмівних колодок, показаний на рис. 3.21 – 3.32, показує, що сплав Al мав вищу деформацію, ніж інші матеріали, тоді як композит з металевою матрицею Al і чавун мають дуже схожі характеристики деформації, а вуглецева сталь показала нижчу деформаційну властивість.

В аналізі напружень гальмівної колодки вуглецева сталь і чавун мають дещо вищі напруження, ніж сплав Al і композит з металевою матрицею Al. Алюмінієвий сплав продемонстрував більшу деформацію, ніж інші три технічні матеріали, тоді як композит з металевою матрицею Al і чавун продемонстрували подібні деформаційні характеристики, тоді як вуглецева сталь має меншу деформацію. Підсумок напружень, деформацій та пружної деформації гальмівних колодок наведено в таблиці 3.2.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2. Резюме структурного аналізу гальмівних колодок.

Гальмівні матеріали	Властивості		
	Максимальне напруження (МПа)	Максимальна деформація (мм/мм)	Загальна деформація (мм)
Вуглецева сталь	238,3	1,13e-03	0,058955
Алюмінієвий сплав	229,68	3,24e-03	0,17312
Композит Al-ММС	229,68	2,34e-03	0,12542
Чавун	238,3	2,38e-03	1,24e-01

3.2 Термічний аналіз гальмівного барабана та колодки.

Температура, яка використовується для дослідження стаціонарного теплового аналізу гальмівних матеріалів, становить 90 °С, а коефіцієнт конвекції становить 5e-006 Вт/мм². Рисунки 3.33 – 3.36 ілюструють термічне дослідження.

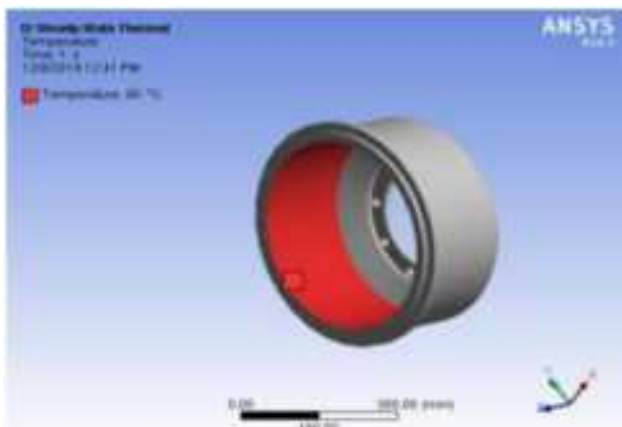


Рисунок 3.33 – Температура барабану 90 °С.

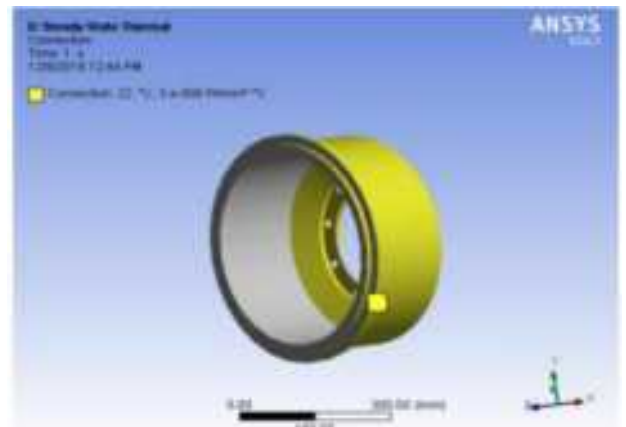


Рисунок 3.34 – Коефіцієнт конвекції барабану 5e-006 Вт/мм².

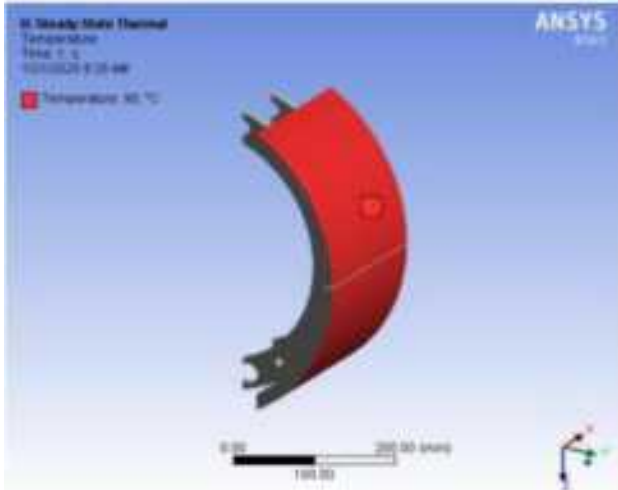


Рисунок 3.35 – Температура колодки 90 °С.

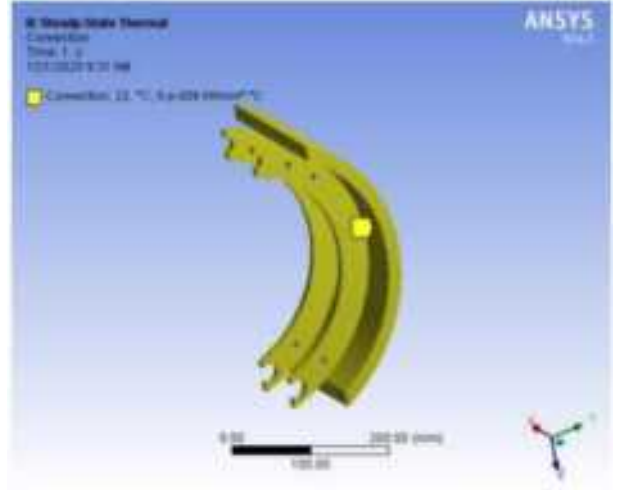


Рисунок 3.36 – Коефіцієнт конвекції колодки 5e-006 Вт/мм².

Термічний аналіз гальмівного барабана.

Гальмівний барабан із алюмінієвого сплаву показав максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 88,519 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,0071645 Вт/мм² та 6,1651e⁻⁶ Вт/мм² відповідно. На рис. 3.37 і 3.38 показано температуру та тепловий потік гальмівного барабана з алюмінієвого сплаву.

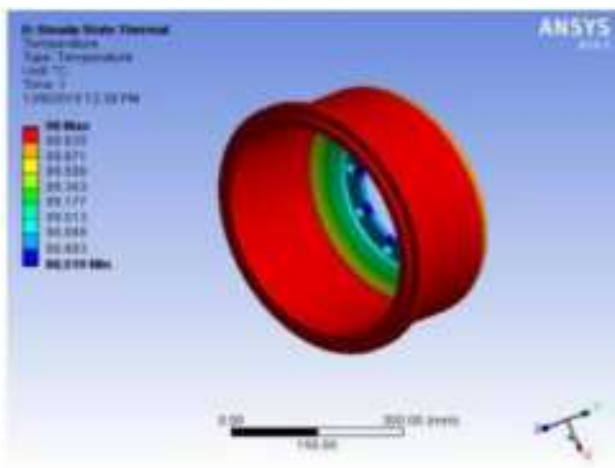


Рисунок 3.37 – Температура гальмівного барабана з алюмінієвого сплаву.

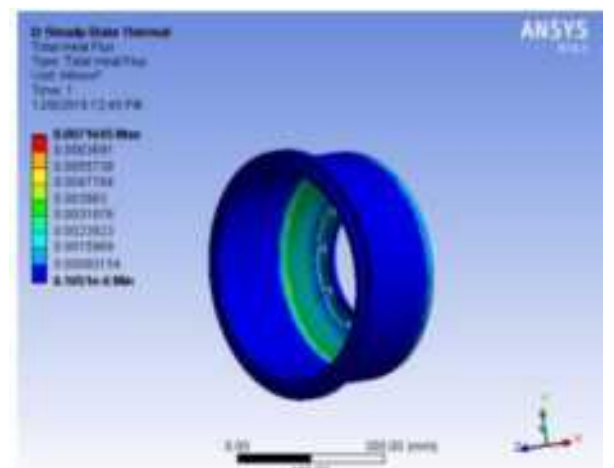


Рисунок 3.38 – Тепловий потік гальмівного барабана з алюмінієвого сплаву.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Термічний аналіз гальмівного барабана з алюмінієвих металевих матриць.

Алюмінієвий гальмівний барабан ММС показав максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 88,458 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,0071609 Вт/мм² та 6,1593e-6 Вт/мм² відповідно. На рисунках 3.39 і 3.40 показано температуру та тепловий потік алюмінієвого гальмівного барабана ММС.

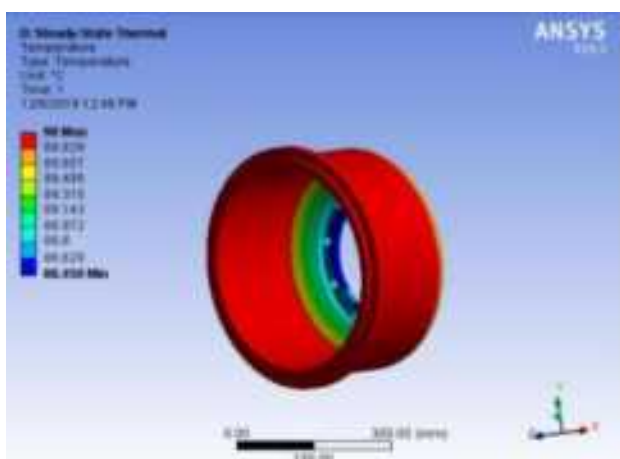


Рисунок 3.39 – Температура гальмівного барабана ММС.

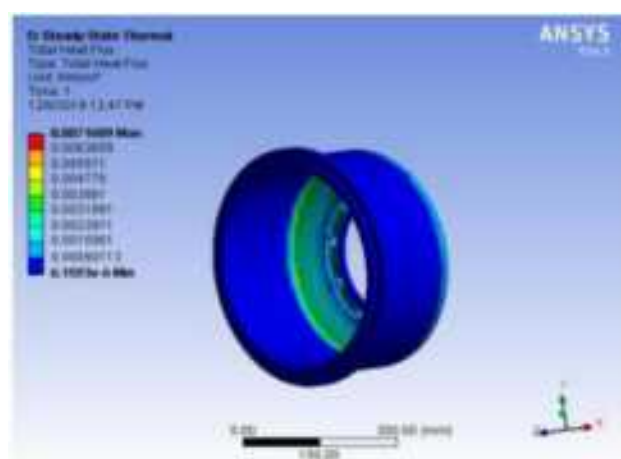


Рисунок 3.40 – Тепловий потік гальмівного барабана ММС.

Гальмівний барабан із вуглецевої сталі показав максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 85,591 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,0069924 Вт/мм² та 5,8853e-6 Вт/мм² відповідно. Тоді як чавунний гальмівний барабан показав максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 85,591 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,0069924 Вт/мм² та 5,8853e-6 Вт/мм² відповідно. Рис. 3.41 – 3.44 показують температуру та тепловий потік гальмівного барабана з вуглецевої сталі та чавуну.

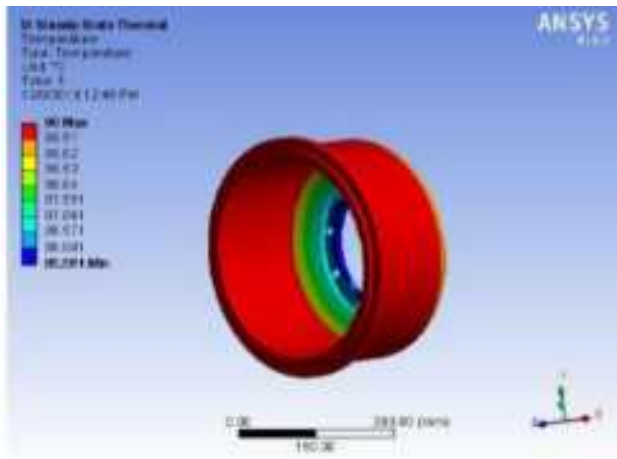


Рисунок 3.41 – Температура гальмівного барабана з вуглецевої сталі.

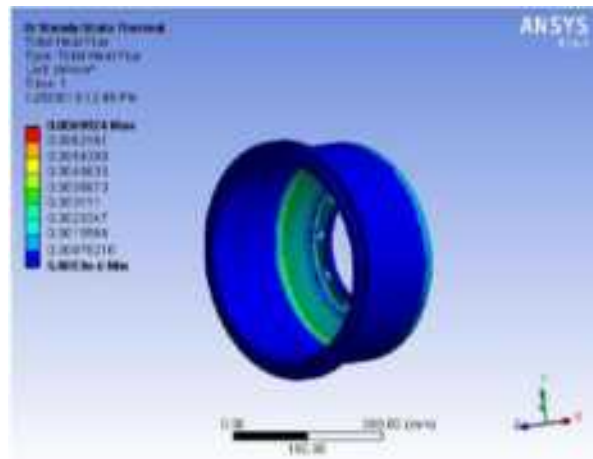


Рисунок 3.42 – Тепловий потік гальмівного барабана з вуглецевої сталі.

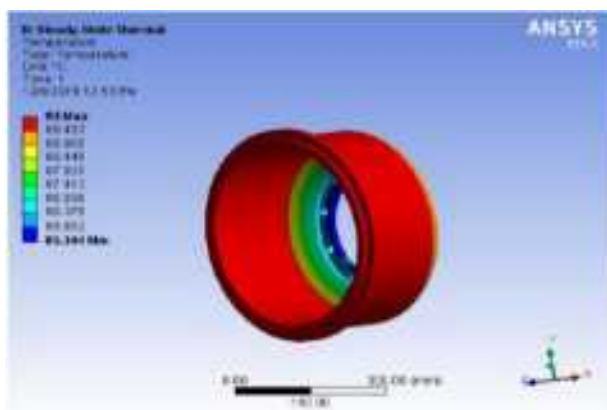


Рисунок 3.43 – Температура гальмівного барабана з чавуну.

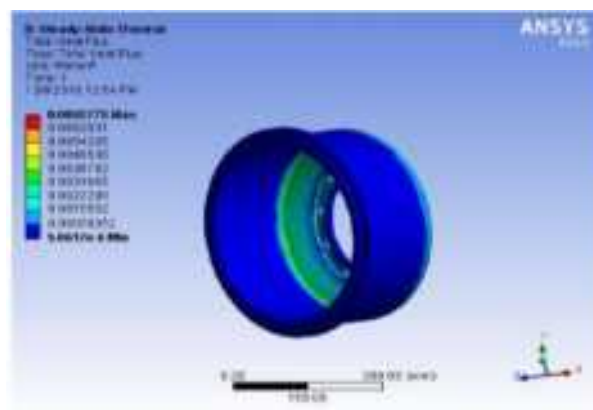


Рисунок 3.44 – Тепловий потік гальмівного барабана з чавуну.

Термічний аналіз гальмівної колодки.

Гальмівна колодка з алюмінієвого сплаву показала максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 88,115 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,012893 Вт/мм² та 0,00017892 Вт/мм² відповідно. На рис. 3.45 і 3.46 показано температуру та тепловий потік гальмівної колодки з алюмінієвого сплаву.

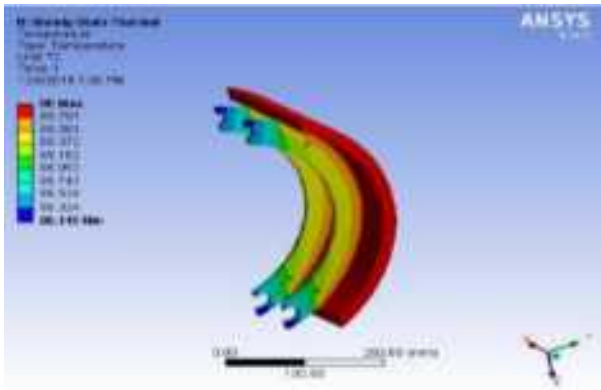


Рисунок 3.45 – Температура гальмівної колодки з алюмінієвого сплаву.

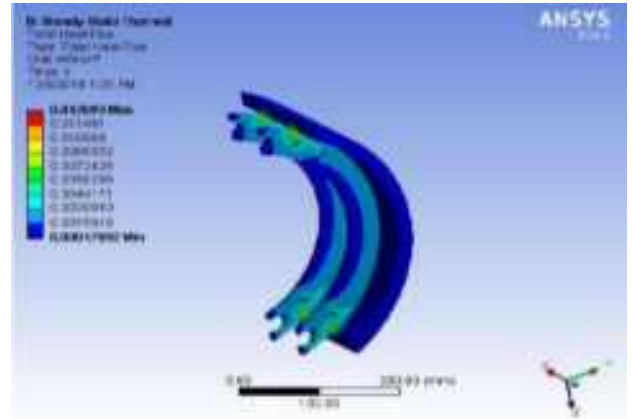


Рисунок 3.46 – Тепловий потік гальмівної колодки з алюмінієвого сплаву.

Композитні гальмівні колодки з алюмінієвою металевою матрицею показали максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 88,038 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,012883 Вт/мм² та 0,00017891 Вт/мм² відповідно. На рис. 3.47 і 3.48 показано температуру та тепловий потік гальмівної колодки з MMC.

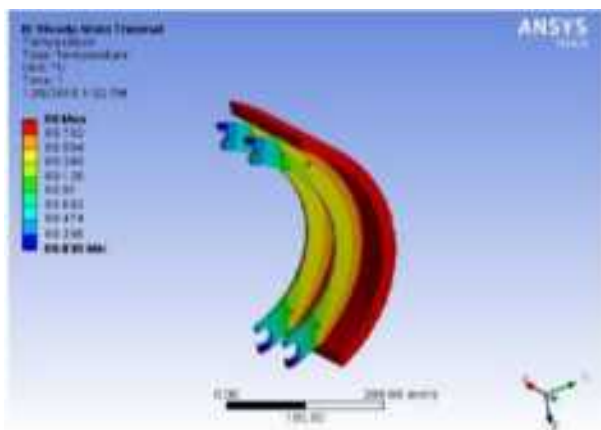


Рисунок 3.47 – Температура гальмівної колодки з MMC.

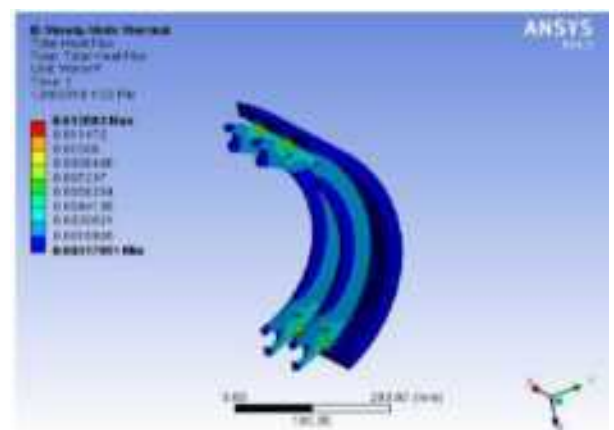


Рисунок 3.48 – Тепловий потік гальмівної колодки з MMC.

Гальмо з вуглецевої сталі показало максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 82,451 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,012165 Вт/мм² та 0,00017827 Вт/мм² відповідно.

Тоді як чавунна гальмівна колодка показала максимальну та мінімальну температуру 90 °С та 84,127 °С відповідно. Максимальний та мінімальний загальний тепловий потік 0,012382 Вт/мм² та 0,00017841 Вт/мм² відповідно. На рис. 3.49 – 3.52 показано температуру та тепловий потік гальмівних колодок із вуглецевої сталі та чавуну.

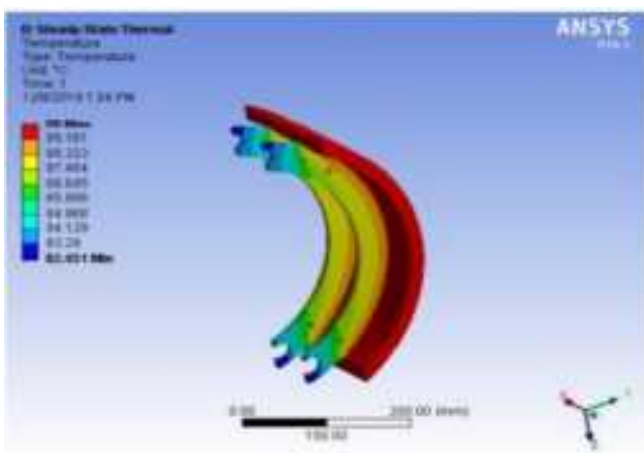


Рисунок 3.49 – Температура гальмівної колодки з вуглецевої сталі.

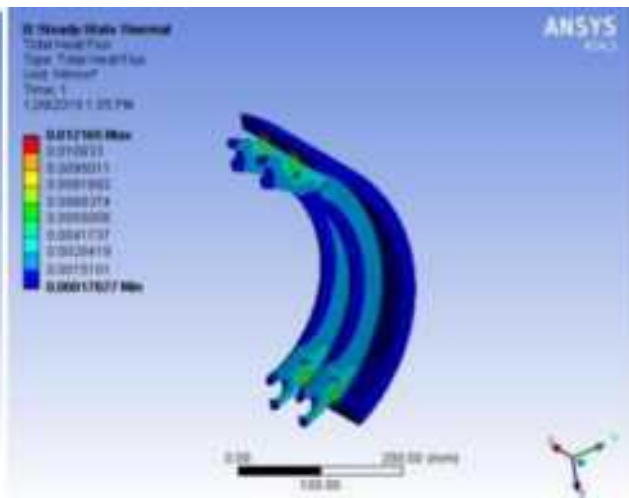


Рисунок 3.50 – Тепловий потік гальмівної колодки з вуглецевої сталі.

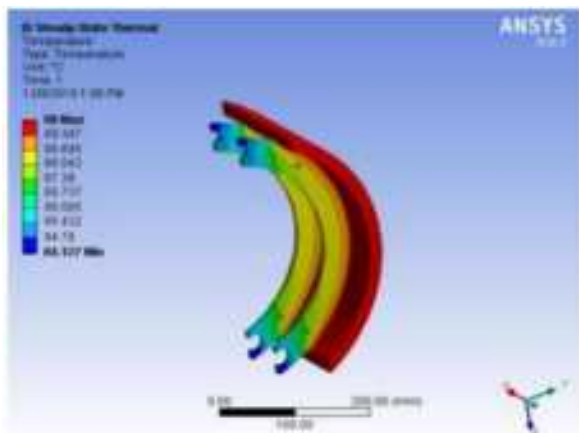


Рисунок 3.51 – Температура гальмівної колодки з чавуну.

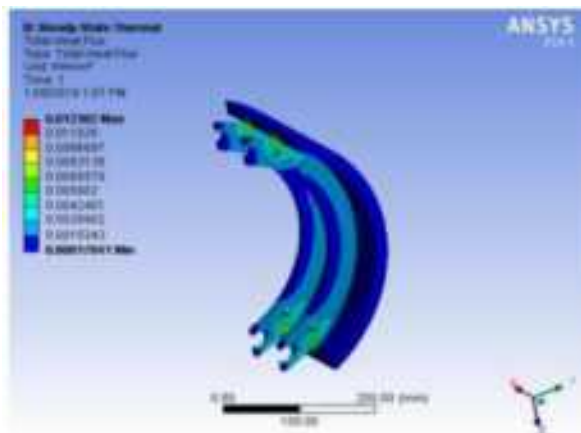


Рисунок 3.52 – Тепловий потік гальмівної колодки з чавуну.

Результат теплового аналізу в стаціонарному стані, який можна побачити на рис. 3.37 – 3.44, розрахований для гальмівного барабана між чотирма конструкційними матеріалами шляхом застосування температури 90 °С і коефіцієнта конвекції $5e-006$ Вт/мм², показав, що сплав Al має вищі характеристики розподілу температури, ніж литий з заліза та вуглецевої сталі, він має невеликі варіації з Al Metal Matrix Composite. Сплав Al і Al MMC мають трохи більший тепловий потік, ніж вуглецева сталь і чавун. Літня температура та тепловий потік чотирьох матеріалів наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Підсумок термічного аналізу гальмівного барабана.

Гальмівні матеріали	Властивості	
	Максимальна температура (°C)	Тепловий потік (Вт/мм ²)
Вуглецева сталь	90	0,0069924
Алюмінієвий сплав	90	0,0071645
Композит Al-MMC	90	0,0071609
Чавун	90	0,0069778

Подібним чином, у стабільному стані результат термічного аналізу гальмівної колодки, який можна побачити на рис. 3.45 – 3.52, алюмінієвий сплав і Al-MMC показали вищу здатність до розподілу температури та тепловий потік, тоді як чавун мав вищу теплопровідність та тепловий потік, ніж вуглецева сталь. Температура та тепловий потік гальмівної колодки наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Підсумок теплового аналізу гальмівної колодки.

Гальмівні матеріали	Властивості	
	Максимальна температура (°C)	Тепловий потік (Вт/мм ²)
Вуглецева сталь	90	0,012165
Алюмінієвий сплав	90	0,012893
Композит Al-ММС	90	0,012883
Чавун	90	0,012382

3.3 Результати випробувань матеріалів на зношування.

Знос чавуну при ковзанні по фрикційному матеріалу.

Швидкість зношування чавуну була визначена за допомогою кількох випробувань, проведених при різних навантаженнях і швидкостях. Швидкість зношування була виміряна зміною прикладеного навантаження на штифт футеровки та збереженням швидкості ковзання та ковзання і відстань як константи. Зміна зносу від навантаження для ковзання чавунного диска по фрикційній накладці показано на рис. 3.53.

Знос низький при менших значеннях прикладених навантажень і збільшується з навантаженням. Знос обумовлений характером контакту розсувної пари тертя. При менших навантаженнях контактна площа і підвищення температури невеликі. Таким чином, при менших навантаженнях спостерігається зменшення зносу. Зі збільшенням прикладеного навантаження збільшуються втрати на знос. Високий рівень зносу спостерігався для максимального навантаження. Встановлено, що швидкість зносу збільшується зі швидкістю ковзання. Така ж тенденція спостерігається і для підвищеної швидкості ковзання. У міру збільшення швидкості ковзання плівка для перенесення руйнується швидше та створює нову плівку, що повинна бути сформована, щоб компенсувати це, тим самим підвищуючи

Таблиця 3.5 – Рівні кожного параметра процесу

№	Факторні рівні	Вхідні змінні		
		Навантаження, Н	Швидкість ковзання, м/с	Шлях тертя, м
1	Верхній рівень	100	1,85	3000
2	Базовий рівень	60	3,7	2000
3	Нижній рівень	20	6,3	1000

Таблиця 3.6 – Значення кожного параметра з їх відповіддю

№	Навантаження, Н	Швидкість ковзання, м/с	Шлях тертя, м	Ступінь зносу гальмівних накладок (10^{-6} г/м)			
				Чавун		ММС	
				Теорет.	Дослід.	Теорет.	Дослід.
1	100	1,85	1000	0,799	0,8	0,199	0,2
2	20	6,3	3000	3,699	3,7	1,399	1,4
3	100	6,3	1000	2,899	2,9	0,799	0,8
4	20	6,3	1000	0,5	0,5	2	0,2
5	20	1,85	1000	0,2	0,2	0,1	0,1
6	100	6,3	3000	17,299	17,3	5,199	5,2
7	100	1,85	3000	4,499	4,5	2,599	2,6
8	20	1,85	3000	1,799	1,8	0,6	0,6

Рівняння лінійної регресії для чавуну під час ковзання по фрикційному матеріалу можна виразити як:

$$W = -0.565 + 0.00866 X_1 + 0.042 X_2 + 0.0006 X_3 - 0.007 X_1 X_2 - 0.00001 X_2 X_3 - 0.00007 X_3 X_1 + 0.00001 X_1 X_2 X_3$$

Підставляючи закодовані значення, можна розрахувати ступінь зносу для будь-якого стану. Було відхилення в 2 % між теоретичними та

									Арк.
									75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 24.23617.000. ПЗ				

експериментальними значеннями. На рис. 3.53 наведені експериментальні та теоретичні значення зміни швидкості зносу з навантаженням.

Зношування ММС до фрикційного матеріалу.

Визначено зношення ММС ковзання по фрикційному матеріалу при різних навантаженнях і швидкостях ковзання. Зміна зносу при прикладеному навантаженні визначається підтриманням навантаження та швидкості ковзання постійними. Той самий експеримент повторюють для різних швидкостей ковзання. Встановлено, що знос збільшується із прикладеним навантаженням з меншою швидкістю, як показано на рис. 3.54.

При збільшенні швидкості ковзання зношування збільшується, і це показано на рис. 3.55. Лінійне рівняння регресії для ММС:

$$W = 0.15 - 0.009 X_1 - 0.047 X_2 - 0.00065 X_3 - 0.0004 X_1 X_2 - 0.000008 X_2 X_3 - 0.00004 X_3 X_1 + 0.000001 X_1 X_2 X_3$$

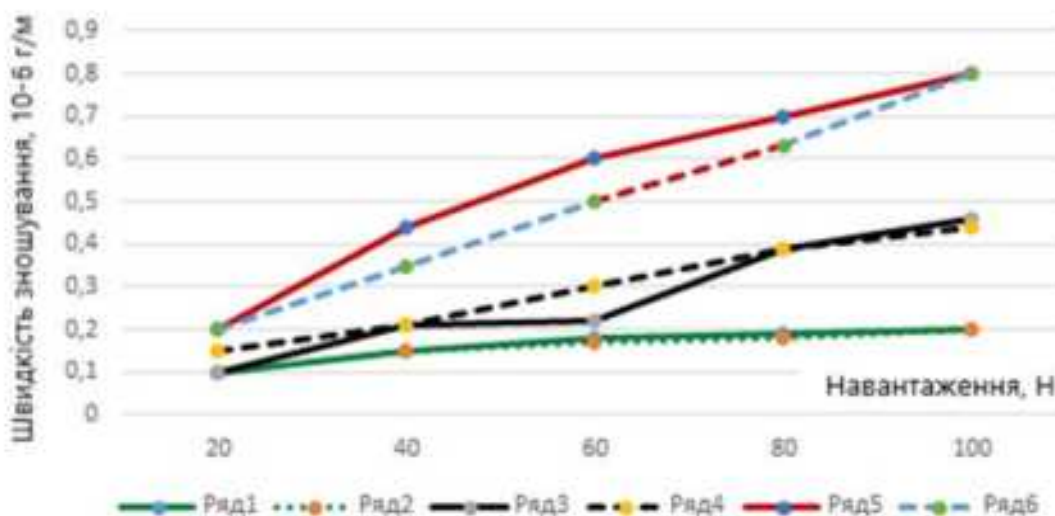


Рисунок 3.54 – Зношування диска з ММС при ковзанні по матеріалу колодки

1 – теоретичне при 1,85 м/с; 2 – експериментальне при 1,85 м/с; 3 – теоретичне при 3,7 м/с; 4 – експериментальне при 3,7 м/с; 5 – теоретичне при 6,3 м/с; 6 – експериментальне при 6,3 м/с

Підставляючи закодовані значення, можна розрахувати ступінь зносу для будь-якого стану. Було відхилення в 5 % між теоретичними та експериментальними значеннями. На рис. 3.54 показані експериментальні та теоретичні значення зміни швидкості зносу з навантаженням.

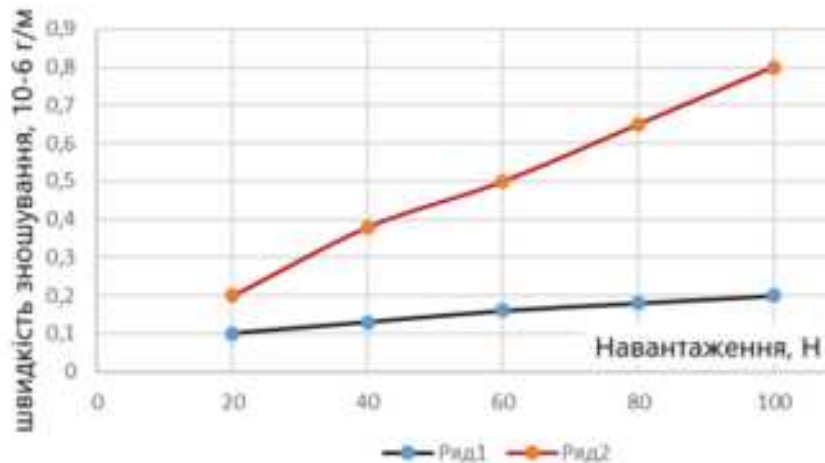


Рисунок 3.55 – Зміна швидкості зношування в залежності від навантаження, на нижньому рівні значень швидкості ковзання та шляху тертя:

1 – ММС; 2 – чавун.

Порівняння зносу чавуну та ММС.

Порівняння зносу чавуну та ММС по фрикційному матеріалу за однакових умов показано на рис. 3.55 – 3.57.

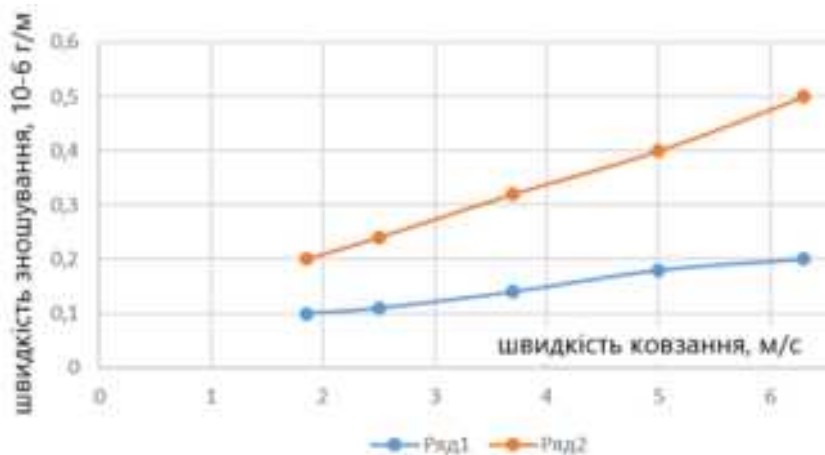


Рисунок 3.56 – Зміна швидкості зношування в залежності від швидкості ковзання, на нижньому рівні значень навантаження та шляху тертя:

1 – диск з ММС; 2 – диск з чавуну.

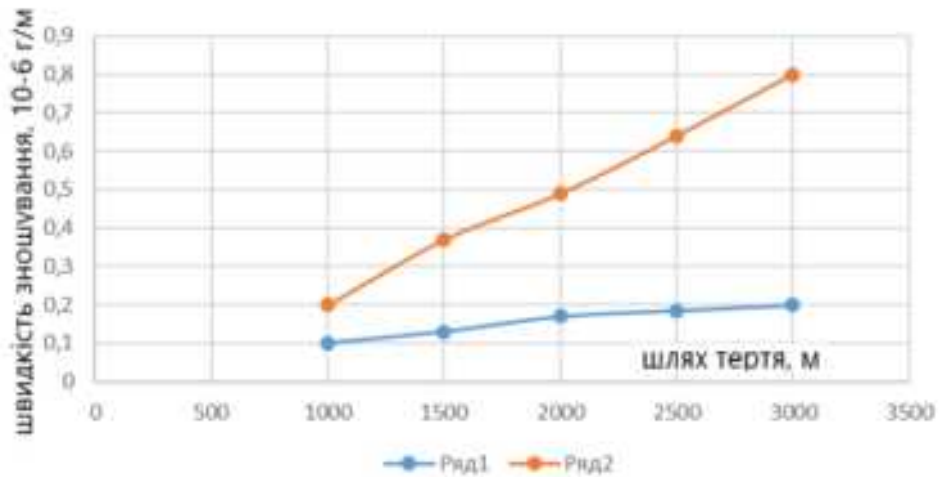


Рисунок 3.57 – Зміна швидкості зношування в залежності від шляху тертя, на нижньому рівні значень навантаження та швидкості ковзання:

1 – диск з ММС; 2 – диск з чавуну.

У всіх цих випадках виявлено, що знос збільшується із прикладеним навантаженням і швидкістю ковзання, для ММС, швидкість зношування виявилася низькою через наявність твердих частинок SiC, присутніх у ММС що діють як несучий елемент і носять абразивний характер. Зміна зносу від швидкості ковзання для чавуну і ММС показані на рис. 3.55 – 3.57. У всіх цих порівняннях виявлено, що знос чавуну є більшим.

Проаналізовано оптичні мікрофотографії контактних поверхонь чавуну, ММС та матеріалу накладки гальмівної колодки до і після випробування на зношування рис. 3.58. Контактна поверхня чавуну перед випробуванням на знос показана на рис. 3.58 (1). Оптична мікрофотографія контактних поверхонь після ковзання на відстань 2000 метрів при прикладеному навантаженні 40 Н і швидкості ковзання 3,7 м/с показано на рис. 3.58 (2). Оптична мікрофотографія ММС до та після випробування на знос показана на рис. 3.58 (3) та рис. 3.58 (4). Спостерігалось утворення плівки для перенесення вздовж напрямку ковзання. Оптичні мікрофотографії матеріалу футеровки до та після зносу щодо чавуну показані на рис. 3.58 (5) та рис. 3.58 (6) відповідно.

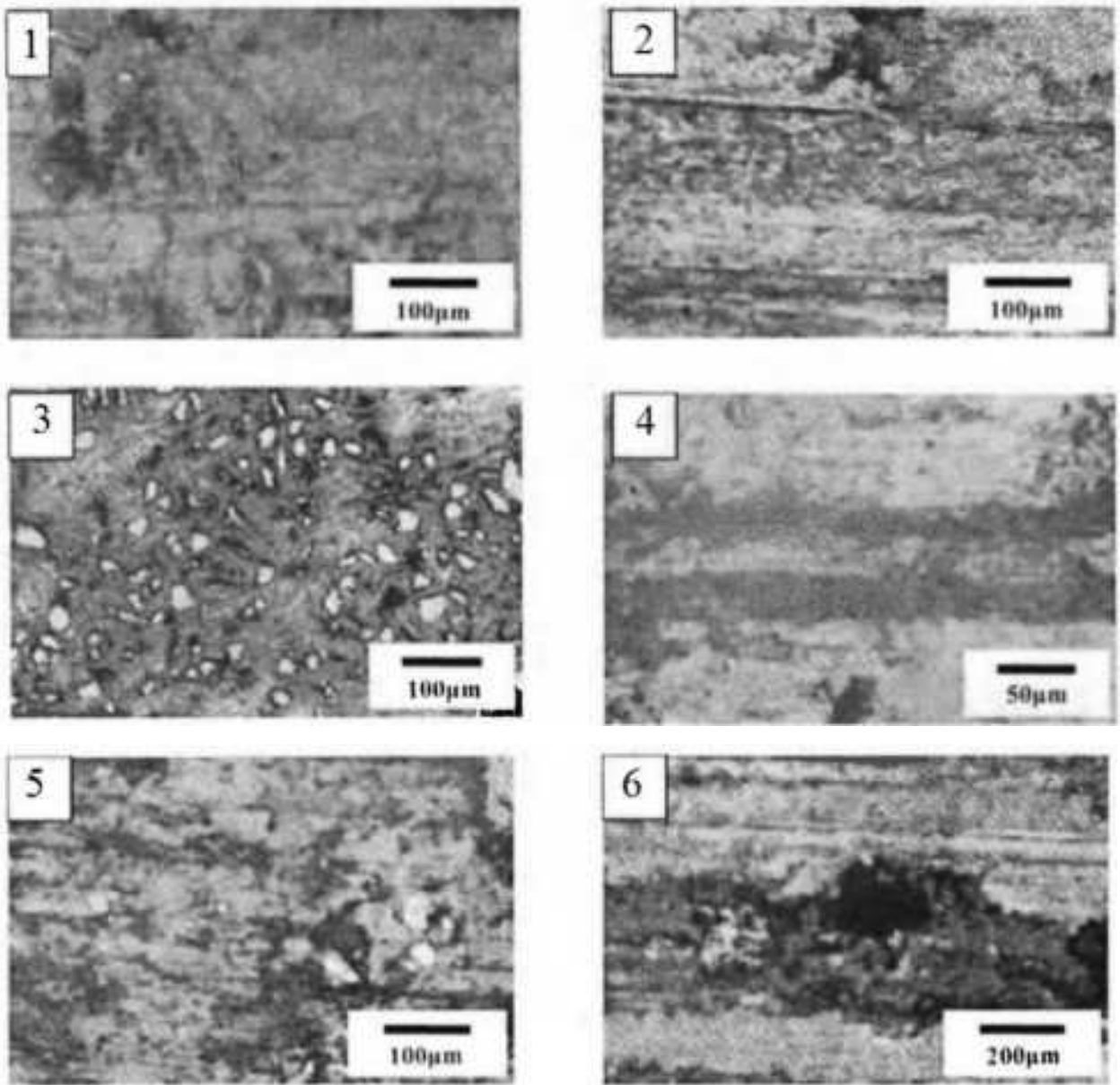


Рисунок 3.58 – Оптичні фотографії зразків з:

1 - чавуну до зносу, 2 – чавуну після зносу, 3 – MMC до зносу, 4 – MMC – після зносу, 5 – матеріал накладки до зносу, 6 – матеріал накладки після зносу.

Мікроструктура, показана на рис. 3.58 (5), розкриває композиційну природу облицювального матеріалу. На рис. 3.58 (6) показано сліди зносу, що утворилися при ковзанні накладки по чавуну. На ньому видно невеликі канавки зносу та плівку для перенесення, що утворюється на поверхні.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

ВИСНОВКИ

1) За результатами аналізу методом кінцевих елементів композит з алюмінієвою металевою матрицею (Al-ММС) має кращі характеристики тепловіддачі та меншу вагу, ніж чавун і вуглецева сталь, та має помірні характеристики деформації, подібні до чавуну.

2) Вимоги до конструкції гальмівного барабана та колодки щодо розсіювання тепла та ваги виконано. Завдяки своїм кращим характеристикам композит з алюмінієвою металевою матрицею (Al-ММС) можна використовувати як альтернативний гальмівний матеріал для виготовлення гальмівних барабанів і колодок.

3) Отримані рівняння регресії отримані з вибраних експериментальних результатів і використані для визначення швидкості зношування при різних вхідних даних. Встановлено, що знос чавунних зразків збільшується із прикладеним навантаженням, швидкістю ковзання та шляху тертя. Спостерігалось, що швидкість зносу ММС нижча, ніж чавуну. Оскільки ММС має більшу зносостійкість, він може бути кращим матеріалом для застосування в гальмівних барабанах.

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремонт гальмівної системи. URL: <https://spec-trans-service.com/service/performance-upgrades/> (дата звернення 17.10.2024).
2. Konrad Reif, 2014, Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems Function, Regulation and Components, USA, Springer, 275 P.
3. Напівпричіп schmitz. URL: <https://kievspecteh.com/napivprichipitentovani/napivprichip-schmitz-s-cs-coil> (дата звернення 17.10.2024).
4. Day A. Braking of road vehicles. Oxford: Butterworth-Heineniann, 2014, P. 472.
5. Полянський, С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин: підручник / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. - К. : Либідь, 2005. - 504 с.
6. A. Wojciechowski, J. Sobczak, Kompozytowe tarcze hamulcowe pojazdów drogowych, Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie, Warszawa, 2001, 166 pp.
7. Chatterley TC and Macnaughtan MP. Cast iron brake discs - Current position, performance and future trends hi Europe. In: SAE Intei-national Congress and Exposition. Detroit. Michigan. USA March 1-4. 1999: SAE International. Waixendale. Pennsylvania, USA. 10pp.
8. Maleque MA. et al. Material selection method hi design of automotive brake disc. In: Proceedings of the World Congj-ess on Engineering 2010. London, UK. June 30 - July 2. 2010: News wood Limited. 5 pp.
9. Muhammad Najib Bin Abdul Hamid. A study on the effect of out-of-roundness of drum brake rotor on the braking force using the finite element method : Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, 2007, P. 36

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

ДОДАТКИ

					МРТАМ 24.23617.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83