

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

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра
Освітньо-кваліфікаційний рівень


Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство. Відновлення та
технічний сервіс автомобілів»
Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

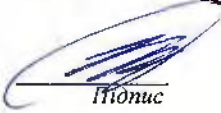
на тему: «Підвищення зносостійкості підшинників ковзання
рульового керування легкового автомобіля»

Шифр: КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ

Виконав: здобувач 2-го курсу, група МТВАм-24-1  Олексій ОЛЯТИВСЬКИЙ
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц. каф. ТАМ  Владислав СВИПЕРСЬКИЙ
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер к.т.н., доц. каф. ТАМ  Олег БАБАК
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю: Зав. кафедри ТАМ,
д.т.н., проф  Олександр ЛИХА
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

1 12 2025 р.

Хмельницький, 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

 проф., д.т.н. Диха О.В.

30.10 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олятівському Олексію Олексійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проєкту (роботи): Підвищення зносостійкості підшипників ковзання рульового керування легкового автомобіля

керівник проєкту (роботи) Свідерський Владислав Петрович к.т.н., доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25 08 2025 р. №65 (Д28)

2. Строк подання студентом проєкту на кафедру 1 грудня 2025 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення ущільнюючих елементів; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці та безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналіз відомих методів та даних по підвищенню зносостійкості деталей пари тертя підшипник ковзання – вісь рульового керування легкового автомобіля.
2. Дослідження зносостійкості деталей пари тертя підшипник ковзання – вісь рульового керування легкового автомобіля і проведення розрахунків з визначенням параметрів моделі зношування.
3. Розробка технологічного процесу нанесення металізованого покриття на поверхню вуглецевих волокон з наступним введенням їх до складу антифрикційних карбопластиків.
4. Розробити технологію виготовлення підшипника ковзання рульового керування легкового автомобіля з матеріалу флубон-М.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
Графічну частину проєкту представити у вигляді презентації на слайдах (10-20) шт.

6. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 15. 10. 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	30.09.2025	
2	Дослідницький розділ	25.10.2025	
3	Технологічний розділ	15.11.2025	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11.2025	
5	Оформлення презентації магістерської роботи	1.12.2025	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	5.12.2025	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	5.12.2025	

Студент


Підпис

Олексій ОЛЯТИВСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Владислав СВІДЕРСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

На тему: *«Підвищення зносостійкості підшипників ковзання рульового керування легкового автомобіля».*

Актуальність теми дослідження.

Найбільш важливим вузлом управління автомобіля вважається його рульове керування. Безнеречно, від справності та надійності даного механізму залежить не тільки безпека дорожнього руху учасників, а навіть і їх життя. Важливою складовою механізму рульового керування є підшипники ковзання, оскільки із-за несправності кронштейна маятникового важеля можливі серйозні негативні наслідки. Це може відбуватися люфт рульового колеса або туге обертання рульового колеса, можна чути стукіт та шум у рульовому керуванні, а також спостерігати самовільне кутове коливання передніх коліс і як результат недостатня стійкість автомобіля.

Мета і завдання дослідження. Підвищення зносостійкості тари тертя підшипник ковзання – вісь рульового керування автомобіля методом заміни матеріалу поліуретан на фторопластовий антифрикційний карбопластик флубон-М.

Щоб виконати поставлену мету в роботі визначено розв'язок наступних задач:

- дослідити умови роботи пари підшипник ковзання – вісь рульового керування автомобіля;
- з ціллю покращення фізичних, механічних та антифрикційних характеристик карбопластиків типу флубон вивчити вплив металізації вуглецевих волокон на властивості матеріалів.
- розробити технологію нанесення металізованого покриття на поверхню вуглецевих волокон з наступним введенням їх в склад антифрикційних карбопластиків.
- розробити методику та виконати дослідження зносостійкості полімерного базового матеріалу поліуретан УР-70 В та антифрикційного карбопластика флубон-М;
- розробити технологію виготовлення підшипника ковзання рульового керування автомобіля з матеріалу флубон-М.

Наукова новизна отриманих результатів. Було здійснено вибір та обґрунтування технологічного методу підвищення зносостійкості вузла тертя агрегату шляхом заміни поліуретану на карбопластик флубон-М. Експериментальні дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів підтвердилися результатами розрахунків, сирямованими на визначення параметрів моделі зношування. Розроблена технологія виготовлення підшипника ковзання рульового керування автомобіля з матеріалу флубон-М.

Структура й обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу, н'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 101 сторінок, 24 рисунків, 12 таблиць, 22 літературних джерел.

Перелік ключових слів: ПІДШИПНИК КОВЗАННЯ, МЕХАНІЗМ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ, АНТИФРИКЦІЙНИЙ КАРБОПЛАСТИК ФЛУБОН-М, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

Зміст

Вступ.....	8
I Аналіз конструкції рульового управління	9
1.1 Конструкція і стан вузлів тертя рульового управління	9
1.1.1 Опис конструкції рульового управління.....	9
1.1.2 Конструкція кронштейна маятникового важеля, види зношування, ресурс.....	13
1.1.3 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості.....	15
1.1.4 Огляд відомих методів підвищення зносостійкості.....	15
2 Технологія технічного обслуговування і поточного ремонту рульового управління і кронштейна маятникового важеля.....	16
2.1 Технічне обслуговування.....	16
2.1.1 Регулювання і профілактика рульового управління	16
2.1.1.1 Загальний огляд.....	16
2.1.1.2 Перевірка шарових шарнірів рульових тяг.....	16
2.1.1.3 Перевірка і регулювання зазору в підшипниках черв'яка рульового механізму.....	17
2.1.1.4 Перевірка і регулювання зазору в зачепленні ролика з черв'яком..	18
2.1.2 Систематизація видів несправностей.....	18
2.2 Технологія поточного ремонту.....	20
2.2.1 Зпимання і розбирання.....	20
2.2.2 Дефектація деталей.....	21
2.2.3 Збирання і встановлення.....	21
2.4 Формулювання завдання на відновлення та підвищення зносостійкості вузла тертя.....	22

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ			
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Підвищення зносостійкості підшипників ковзання рульового керування легкового автомобіля	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Олятівський О.О.		5.12.25		н		
Перевір.		Свідерський В.П.		5.12.25			5	101
Н.контр.		Бабак О.В.		5.12.25		ХНУ, група МТВАм-24-1		
Затвер.		Диха О.В.		5.12.25				

3	Вибір матеріалу підшипника ковзання рульового керування легкового автомобіля.....	24
3.1	Призначення підшипників ковзання.....	24
3.2	Принцип роботи підшипника ковзання.....	27
3.3	Підшипникові матеріали.....	29
3.4	Властивості політетрафторетилену.....	40
3.5	Застосування політетрафторетилену.....	43
3.6	Антифрикційні матеріали на основі політетрафторетилену.....	44
3.7	Визначення умов роботи вузла тертя втулка-вісь маятника.....	51
3.7.1	Розрахунок тисків.....	51
3.7.2	Розрахунок шляху тертя.....	53
4	Технологія підвищення зносостійкості підшипника ковзання рульового керування автомобіля.....	54
4.1	Вибір методу підвищення зносостійкості.....	54
4.2	Технологія виготовлення підшипника ковзання.....	54
4.2.1	Підготовка сировини.....	55
4.2.1.1	Порізка вуглецевої тканини на шматки.....	55
4.2.1.2	Грубе подрібнення вуглецевої тканини.....	55
4.2.1.3	Тонке подрібнення вуглецевої тканини.....	56
4.2.2	Металізація вуглецевих волокон.....	56
4.2.3	Властивості та застосування металізованих вуглецевих волокон...	58
4.2.4	Підготовка вуглецевих волокон до металізації.....	61
4.2.5	Одержання металевих покриттів шляхом хімічного відновлення в розчинах.....	67
4.2.5.1	Розчини металізації.....	68
4.2.5.2	Основні технологічно важливі параметри розчинів хімічної металізації.....	68
4.2.5.3	Стабільність розчинів металізації.....	70
4.2.6	Хімічне міднення.....	71
4.2.6.1	Склад розчинів.....	71

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

4.2.7	Змішування порошку фторопласт 4 з наповнювачами.....	74
4.2.7.1	Змішування композиції.....	74
4.2.7.2	Подрібнення композиції	75
4.2.8	Підготовка сировини.....	76
4.2.8.1	Сушка композиції.....	76
4.2.8.2	Рихлення композиції.....	76
4.2.8.3	Зважування композиції.....	76
4.2.9	Пресування заготовок підшипника ковзання.....	77
4.2.10	Термообробка заготовок підшипника ковзання.....	83
4.2.11	Контроль виготовлених заготовок підшипників ковзання.....	84
5	Оцінка зносостійкості та міцності при стискуванні підшипника ковзання рульового керування	85
5.1	Лабораторні дослідження пари тертя з визначенням параметрів моделі зношення.....	85
5.1.1	Методика досліджень зносостійкості антифрикційних матеріалів.....	85
5.1.2	Обладнання та методика для проведення випробувань зносостійкості антифрикційних матеріалів.....	88
5.1.3	Результати випробувань і визначення параметрів моделі зношування..	90
5.1.3.1	Початкові умови дослідження зносостійкості.....	90
5.1.3.2	Визначення параметрів моделі зношування антифрикційного матеріалу Флубон-М.....	90
5.1.3.3	Визначення параметрів моделі зношування матеріалу поліуретан УР-70 В.....	91
5.2	Залежність інтенсивності зносу від контактних тисків антифрикційних матеріалів.....	92
5.3	Дослідження міцності при стискуванні антифрикційних матеріалів.....	94
	Висновки.....	98
	Список використаних джерел.....	97
	Додатки.....	100

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Аналізуючи розвиток автомобілебудування останніх сто років, змін суттєвих не спостерігаємо. Як і попередні моделі, в даний час автомобіль теж має кузов, колеса, а також, безперечно, двигун внутрішнього згоряння, трансмісію та механізм керування транспортного засобу. Що істотно змінилося і ускладнилося – це те, що усі агрегати, механізми, вузли та системи автомобіля отримали достатньо значний розвиток та зміну.

Найбільш важливим вузлом управління вважається рульове керування транспортного засобу. Безперечно, від справності та надійності даного механізму залежить не тільки безпека дорожнього руху учасників, а в деякій мірі і їх життя. Важливою складовою механізму рульового керування вважають підшипники ковзання, оскільки із-за несправності кронштейна маятникового важеля можливі серйозні негативні наслідки. Це може відбуватися люфт рульового колеса або туге обертання рульового колеса. Можна чути стукіт та шум у рульовому керуванні, а також спостерігати самовільне кутове коливання передніх коліс і як результат недостатня стійкість автомобіля.

Одною з ключових та актуальних проблем зносостійкості й надійності машинних конструкцій є розробка та впровадження у виробництво нових, науково обґрунтованих, технологічно доступних, екологічних й економічно вигідних методик підвищення зносостійкості поверхонь тертя, адже це безпосередньо впливає на їхню довговічність. Для деталей, що функціонують в умовах контакту, ця проблема обумовлює потребу в розробці нових полімерних композиційних матеріалів для підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Найбільш перспективним способом, котрий дає можливість вирішити поставлене завдання – це створення композиційних полімерних матеріалів із застосуванням багаторівневого модифікування полімерної матриці методом введення у композитну суміш наповнювачів різної дисперсності та складу. Як приклад, може бути така: модифікація композиційних фторопластових матеріалів металізованими вуглецевими волокнами.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

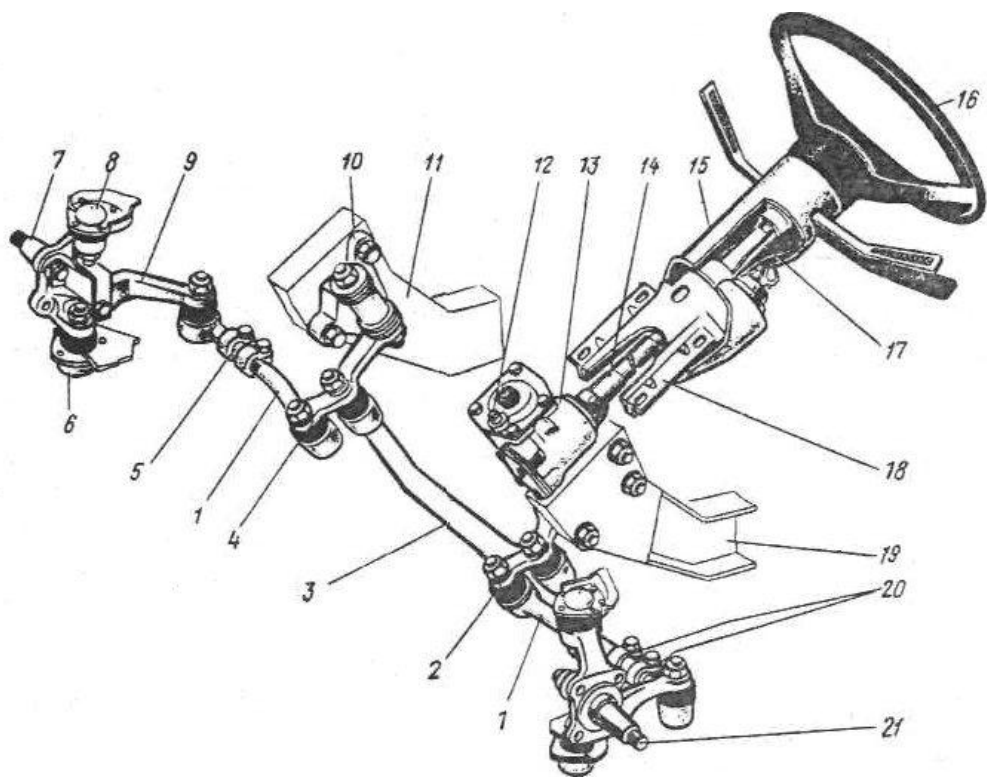
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РУЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ

1.1 Конструкція і стан вузлів тертя рульового управління

1.1.1 Опис конструкції рульового управління

Розглянемо рульове управління автомобіля ВАЗ-21011, який складається із рульового механізму та рульового приводу [1].

Рульовий механізм – це черв'ячний редуктор, що розміщений у картері 13 (рисунок 1.1), а також рульове колесо 16, рульовий вал 14 та деталі кріплення.



1 – бокові тяги; 2 – рульова сошка; 3 – середня тяга; 4 – важіль маятникового типу; 5 – регулююча муфта; 6 – нижній шарнір підвіски; 7 – цапфа; 8 – верхній шарнір підвіски; 9 – поворотні важелі; 10 – кронштейн; 11 – лонжерон; 12 – пробка маслозаливного отвору; 13 – картер; 14 – рульовий вал; 15 – кожух; 16 – рульове колесо; 17 – труба; 18 – кронштейн; 19 – лонжерон; 20 – стяжні хомути; 21 – цапфа.

Рисунок 1.1 — Рульове управління легкового автомобіля

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Безпосередньо рульове колесо виготовлене з пластмаси та армоване сталевим каркасом. В середині розташований вмикач звукового сигналу, контактна частина його закрита пластмасовою кришкою. На валу 14 рульового колеса розташований здвоєний шліц, за допомогою чого колесо кріпиться гайкою до валу лише в одному положенні. За допомогою шліців і стяжного болта рульовий вал з'єднується наконечником з валом черв'яка. Верхня частина валу контактує з пластмасовою втулкою, що розміщена у трубі 17 верхньої опори валу. Дана труба розміщується в кронштейні 18 та фіксується у ньому хомутом, який затягується болтом. Перемикач покажчиків повороту та світла фар закріплені до фланця труби верхньої опори валу.

Що стосується кронштейна 18 валу рульового управління, то він прикріплений до кузова болтами, їх чотири. Верхня частина валу та кронштейн закриті пластмасовими кожухами 15.

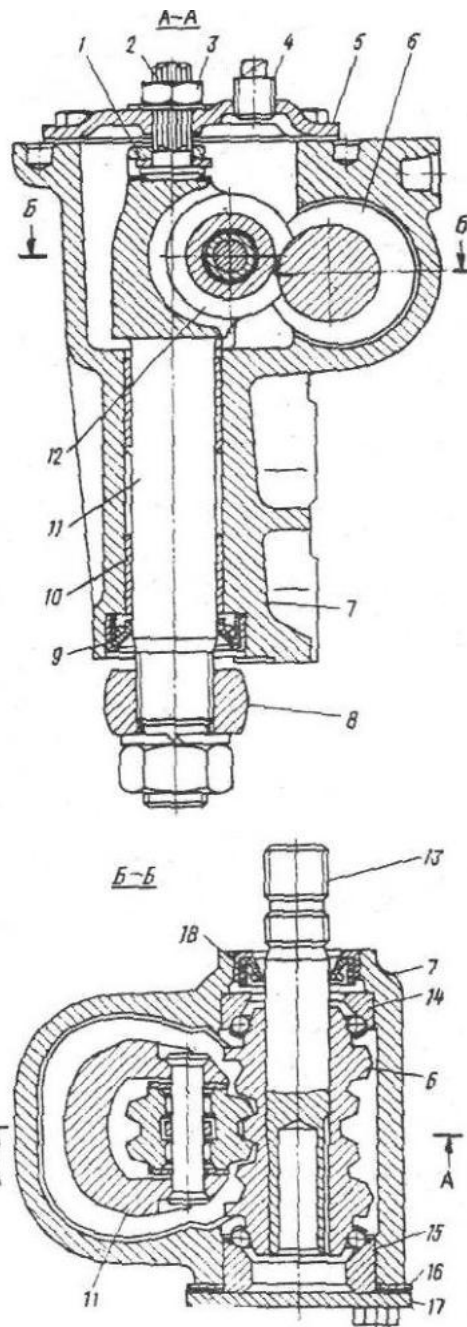
З внутрішнього боку відсіку двигуна до лівого лонжерона 19 кузова трьома болтами кріпиться картер рульового механізму. Між лонжероном та картером розташовані регульовальні шайби, підбираючи які, маємо можливість досягти необхідного співвідношення рульового валу та валу черв'яка.

У картері 7 розміщений черв'як 6, який перебуває в зчепленні з двогребневим роликком 12 валу сошки 11 (рисунки 1.2). Черв'ячна пара має передаточне число 16,4. Черв'як, будучи напресованим на вал 13, виконує обертовий рух у верхньому 14 та нижньому 15 підшипниках. Внутрішніми обоймами підшипників служать безпосередньо поверхні черв'яка, на яких вирізані бігові доріжки для кульок підшипників. Вибором прокладок 16 між картером та кришкою 17 виконується регулювання осевого зазору у підшипниках черв'яка. Такі прокладки у вигляді запасних частин поставляються виробниками двох товщин: 0,1 та 0,15 мм.

У двох бронзових втулках 10, що запресовані у картер рульового механізму, обертається вал сошки. На голчастому підшипнику верхнього кінця валу обертається ролик 12. Нижній кінець валу зі шліцами конічної форми одітий на сошку 8. Дві здвоєні впадини розміщені у шліцьовому отворі сошки, а на валу

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно два здвоєних виступи. Ось чому, сошку можна розмістити на вал лише у одному визначеному положенні. Розміщення валу сошки, що відповідає правильному зчепленню ролика з черв'яком, зафіксовано регулюючим гвинтом 2.



1 – регулюючі пластини; 2 – регулюючий гвинт; 3 – гайка; 4 – стопорна гайка; 5 – верхня кришка картера; 6 – вісь ролика; 7 – картер; 8 – сошка; 9 – сальник; 10 – втулка; 11 – сошка; 12 – двогребневий ролик; 13 – вал; 14 – верхній підшипник; 15 – нижній підшипник; 16 – прокладка; 17 – кришка.

Рисунок 1.2 – Рульовий механізм

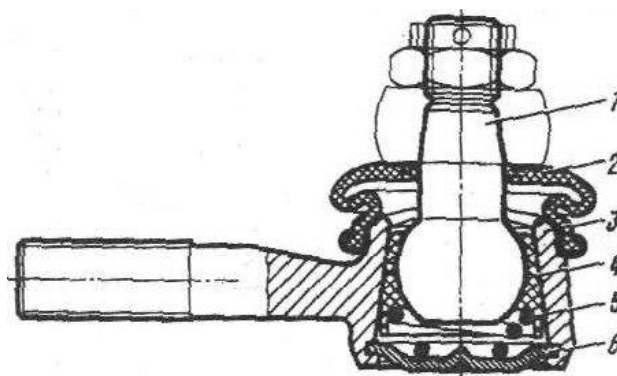
					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Зазор між головкою гвинта та пазом валу змінюється підбором регулюючих пластин 1. Регулюючі пластини, як запасні частини, поставляються одинадцяти розмірів наступної товщини: від 1,95 до 2,20 мм.

У картер рульового механізму заливається мастило ТАД -17 до поміченого рівня у кришці 5 заливного отвору 12, який фіксується пробкою 4 (рисунок 1.1).

Рульовий привід – це три тяги: середня 3 (рисунок 1.1) та дві тяги крайні 1, а також сошка 2, важіль маятникового типу 4, кронштейн 10 на лонжероні 11, важелі поворотні 9 і цапфи 7 та 21. Суцільна середня тяга 3 по кінцях має шарові шарніри, які передбачені для з'єднання з маятниковим важелем та рульовою сошкою. Крайня тяга налічує два наконечники з різьбою, які з'єднані між собою регулюючою муфтою 5. Регулюючі муфти закріплені на тягах при допомозі двох стяжних хомутив 20. При провертанні муфти 5 наблюдаємо зміну довжина бокової тяги регулювання сходження передніх коліс. За допомогою шарових шарнірів наконечники крайніх тяг приєднуються до важелів 9 поворотних цапф, а також до важеля маятникового типу 4 та до рульової сошки 2. Цапфи поворотні провертаються у нижньому 6 та верхньому 8 шарнірах підвіски.

Стальний палець 1 (рисунок 1.3) шарових шарнірів тяг має сферичну головку, яка знаходиться у пластмасовому конічному підшипнику 4. Пружина 5, піджимаючи підшипник до корпусу 3, створює натяг у з'єднанні пальця з підшипником та наконечником тяги.



1 – стальний палець; 2 – захисний ковпачок; 3 – корпус; 4 – конічний підшипник; 5 – пружина; 6 – заглушка.

Рисунок 1.3 – Шаровий шарнір рульової тяги

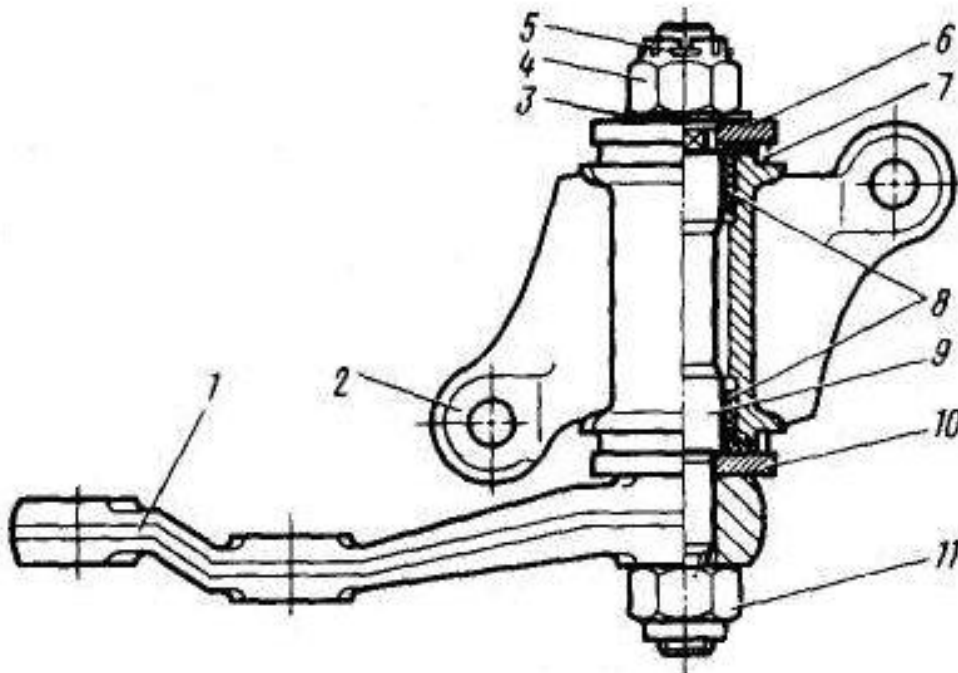
					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

При збиранні шарові шарніри наповнюються спеціальним мастилом ШРБ-4 та з однієї сторони герметизуються заглушкою 6, зафіксованою у наконечнику тяги, а з другої сторони закривається гумовим захисним ковпачком 2. Заміна мастила або поповнення при експлуатації автомобіля не потрібне.

Напроти картера рульового механізму кронштейн 10 маятникового важеля (рисунок 1.1) фіксується двома болтами до правого лонжерона кузова.

1.1.2 Конструкція кронштейна маятникового важеля, види зношування, ресурс

У кронштейні 2 (рисунок 1.4) маятникового важеля розташовані два підшипники ковзання. Ці підшипники виготовлені із поліуретану у вигляді втулок 8, у яких повертається вісь 9. При збиранні у кронштейн закладається мастило Литол -24. Заміна або поповнення при експлуатації не потрібне.



1 –маятниковий ричаг; 2 – кронштейн; 3 – шайба; 4 – корончаста гайка; 5 – фіксатор; 6 – шайба; 7 – ущільнювач; 8 – втулки; 9 – вісь; 10 – шайба; 11 – самофіксуюча гайка.

Рисунок 1.4 — Кронштейн маятникового важеля

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

У цьому вузлі тертя наблюдається абразивне та втомлювальне зношення. Ці види зношення виникають через дії граничного тертя.

Абразивне зношування можливе при безпосередній взаємодії контактних поверхонь тертя з абразивними частинками. Результатом абразивного зношення буде інтенсивна руйнація робочих поверхонь деталей вулів.

В процесі взаємодії абразивних частинок руйнування може проходити:

- методом мікрорізання;
- методом багаторазового пластичного деформування поверхневих шарів;
- методом ударно - механічного деформування.

Абразивне зношення викликає пилюка, ґрунт, що були на поверхні тертя, металева стружка та окисні плівки, які перебувають на поверхні тертя, або різні продукти зношування, такі, як викришені часточки твердих структурних складових.

Такі абразивні часточки досить часто можуть мати різну форму та по – різному розташовані по поверхні деталі. Можливість абразивного зерна втискатись в поверхню деталі залежить не тільки від твердості, але також і від геометричної форми зерна.

Втомлюване зношування – це вид механічного зношення у процесі втомливого руйнування при багаторазовому повторному впливі на поверхневий шар матеріалу. Такий процес, безумовно, має скритий довготривалий період, в результаті чого утворюються пошкодження навіть і всередині матеріалу.

Пружні деформації, які виникають при терті полімерів, приводять до утворення втомлюваних тріщин. Вони розташовуються у поперечному напрямку до швидкості ковзання. Такі тріщини приводять до руйнації фрикційного вузла.

Ударне втомливе зношування характеризується доволі поступовим формування рельєфу поверхні, тому збільшення зношування буде відбуватися повільніше. Не маючи явного рельєфу у вигляді лунок або рисок, поверхня зношування в результаті дій зразків високої твердості один на одного згладжують початкові нерівності. Спочатку відслідковується припрацювання поверхонь, а

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

далі наступає стабілізація терміну зношення. У початковий період дослідження швидкість зношування буде максимальною, потім наблюдається зниження і при досягненні деякого рівня, остається незмінною на протязі усіх наступних випробувань.

Регламентованим ресурсом роботи рульового управління автомобіля вважають 80000 км пробігу. Тому ресурс роботи підшипників ковзання, які є складовою частиною рульового управління, теж буде таким же – 80000 км.

1.1.3 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості

Рульове управління вважається одним з найважливіших вузлів автомобіля. Від справності та роботи механізмів даного вузла прямо пропорційно залежить безпека переміщення та життя усіх учасників дорожнього руху. Важливими складовими рульового управління є підшипники ковзання, так як із-за несправності кронштейна маятникового важеля можна спостерігати такі негативні наслідки:

- люфт рульового колеса;
- обертання рульового колеса туге;
- стукіт або шум у рульовому управлінні;
- не передбачуване кутове коливання передніх коліс;
- невідповідна стійкість автомобіля заданим характеристикам.

1.1.4 Огляд відомих методів підвищення зносостійкості

Для підвищення зносостійкості підшипників ковзання, оскільки вони поліуретанові, такі відомі способи, як напилення чи наплавлення, не можливо застосовувати. У цьому випадку доцільно буде використовувати методи заміни базового матеріалу на більш зносостійкий. Дане питання можна вирішити при застосуванні композиційного матеріалу флубон-М.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ РУЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ І КРОНШТЕЙНА МАЯТНИКОВОГО ВАЖЕЛЯ

2.1 Технічне обслуговування

2.1.1 Регулювання і профілактика рульового управління

2.1.1.1 Загальний огляд

На початку огляду рульового механізму необхідно очистити від усіх забруднень деталі рульового приводу та картер. Далі потрібно встановити колеса у положення по прямій лінії руху.

Повертаючи рульове колесо в протилежні сторони, перевіряють:

- люфт рульового колеса, який не має перевищувати 5° , вимірюючи по ободу колеса не має бути більше 18-20 мм;
- силу повороту рульового колеса, на гладкому покритті не повинно перевищувати 25 кгс, при цьому звертаючи увагу на наявність у з'єднаннях та рульовому механізмі стуків;
- надійність та міцність кріплення картера рульового механізму та кронштейна маятникового важеля, при потребі різьбові з'єднання підтягують.

Також, потрібно пересвідчитись, що в кронштейні маятникового важеля та в шарових з'єднаннях тяг відсутній люфт. Необхідно впевнитись, що вал черв'яка не зміщується у осьовому напрямку.

На кінець огляду, повертаючи регульовальні муфти тяг, виконують перевірку надійності затягування їх хомутів.

2.1.1.2 Перевірка шарових шарнірів рульових тяг

По- перше, потрібно перевірити зміщення наконечників вздовж осі пальців.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для виконання цього, застосовують важіль та опору, зміщуючи наконечник паралельно осі пальця. Це осьове зміщення наконечника відносно пальця має бути 1-1,5 мм. Величина такого переміщення вказує на те, що вкладиш пальця не заклинений у гнізді наконечника та, стискаючи пружину зміщується разом з пальцем. У випадку заклинення, потрібно замінити шарнір з заклиненим вкладишем.

Провертаючи рульове колесо в протилежні сторони, перевіряють відсутність люфту у шарнірах рульових тяг. Якщо все-таки люфт відчувається, необхідно замінити наконечники або у зборі рульову тягу.

Наступний етап перевірки – перевірка стану захисних ковпачків шарових шарнірів рульових тяг. Якщо вони мають розриви, тріщини або відшарування гуми від окантовки, захисні ковпачки підлягають заміні.

2.1.1.3 Перевірка і регулювання зазору в підшипниках черв'яка рульового механізму

Для перевірки та регулювання зазору в підшипниках передні колеса автомобіля розташовують в положення прямолінійного руху. Далі, повертаючи рульове колесо в протилежні сторони, виконують перевірку, чи є зміна відстані між торцем картера 13 рульового механізму та наконечником валу (рисунки 1.1). Наявність зміни відстані – це ознака зазору в підшипниках черв'яка, необхідне регулювання даного зазору.

Для виконання регулювання зазору в підшипниках черв'яка потрібно рульове колесо повернути на 1-1,5 оберти вліво, викрутити кріплення нижньої кришки та злити масло з картера рульового механізму. Знявши кришку, необхідно видалити регулюючу прокладку чи замінити її тоншою. Потім, закріпивши нижню кришку, потрібно знову перевірити наявність осьового переміщення черв'яка у підшипниках. Якщо осьове переміщення відсутнє, потрібно залити масло в картер та перевірити зусилля повороту рульового колеса. Зусилля повороту не повинно перевищувати 25 кгс при розташуванні передніх коліс на рівній поверхні.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.1.4 Перевірка і регулювання зазору в зачепленні ролика з черв'яком

У випадку відсутності осьового переміщення черв'яка у підшипниках, знімачем А.47035 видаляють пальці шарових шарнірів з рульової сошки та відкріплюють бокову та середню тяги. Все це виконується при прямолінійному положенні передніх коліс та на рівній поверхні (рисунок 2.1).

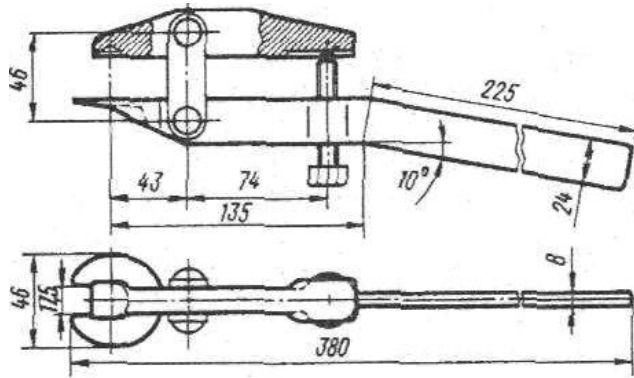


Рисунок 2.1 — Знімач А.47035 шарових пальців рульових тяг

Переміщуючи сошку, визначають наявність зазору у зачепленні ролика та черв'яка. При прокручуванні рульового колеса на 30° в протилежні сторони від нейтрального положення зазору, щоб відчути вільний хід рульової сошки, послабивши гайку регулюючого гвинта та звільнивши стопорну шайбу, прокручують регулюючий гвинт до усунення зазору (рисунок 2.1). Надто туго затягувати регулюючий гвинт не рекомендовано. Далі, утримуючи регулюючий гвинт викруткою, закручують гайку.

Перепровіривши, що сошка не має вільного ходу, пальці шарових шарнірів з'єднують з нею та визначають зусилля повороту рульового колеса. Якщо зусилля повороту перевищує 25 кгс, потрібно послабити регулюючий гвинт.

2.1.2 Систематизація видів несправностей

Можливі несправності рульового управління, причини виникнення і способи усунення наведені в таблиці 2.1

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 2.1– Несправності рульового управління і способи їх усунення

Причини несправностей	Способи усунення
Збільшений люфт рульового колеса	
Послаблення болтів кріплення рульового механізму	Затягнути болти
Послаблення гайок шарових пальців рульових тяг	Перевірити та затягнути гайки
Збільшений зазор у шарових шарнірах	Замінити рульові тяги або наконечники
Великий зазор між віссю маятникового важеля та втулками	Замінити втулки або кронштейн у зборі
Збільшений зазор в підшипниках черв'яка	Відрегулювати зазор
Збільшений зазор в підшипниках ступиць передніх коліс	Відрегулювати зазор
Туге обертання рульового колеса	
Деформація деталей рульового приводу	Замінити деформовані деталі
Перетяжка регулюючої гайки осі маятникового важеля	Зменшити затяжку гайки
Пошкодження деталей шарових шарнірів	Перевірити та замінити пошкоджені деталі
Відсутність мастила у картері рульового механізму	Провірити та долити мастило. При необхідності замінити сальник
Шум, стукіт у рульовому управлінні	
Збільшений зазор в підшипниках ступиць передніх коліс	Відрегулювати зазор
Збільшений зазор між віссю маятникового важеля та втулками	Замінити втулки або кронштейн у зборі
Послаблення регулюючої гайки осі маятника	Відрегулювати затягування гайки
Послаблення болтів кріплення	Перевірити та затягнути гайки болтів

Продовження таблиці 2.1

Причини несправностей	Способи усунення
Самовільне кутове коливання передніх коліс	
Послаблення гайок шарових пальців рульових тяг	Перевірити та затягнути гайки
Послаблення болтів кріплення рульового механізму або кронштейна маятникового важеля	Перевірити та затягнути гайки болтів
Порушення зазору в зчепленні ролика з черв'яком	Відрегулювати зазор
Погана стійкість автомобіля	
Послаблення болтів кріплення рульового механізму або кронштейна маятникового важеля	Перевірити та затягнути гайки болтів
Надмірний зазор в шарових шарнірах рульових тяг	Замінити наконечники або рульові тяги
Деформовані поворотні кулаки або важелі підвіски	Перевірити кулакитаважелі, деформовані деталі замінити

2.2 Технологія поточного ремонту

2.2.1 Знімання і розбирання

Для зняття кронштейну маятникового важеля потрібно відкріпити маятниковий важіль від шарнірних пальців бокової правої та середньої тяг, викрутивши попередньо гайки, зняти шплінт та витягнути знімачем А.47052 шарові пальці із важеля (рисунок 2.2). Далі, викрутивши болти кріплення кронштейна до лонжерона, знімають кронштейн.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Щоб виконати розбирання кронштейну, його закріплюють в лещатах, виймають шплінт 5 та викручують корончату гайку 4, далі звільняють шайби 3 та 6, маятниковий важіль у зборі з віссю 9. Залишилось зняти ущільнювачі 7 та випресувати втулки 8 (рисунок 1.4).

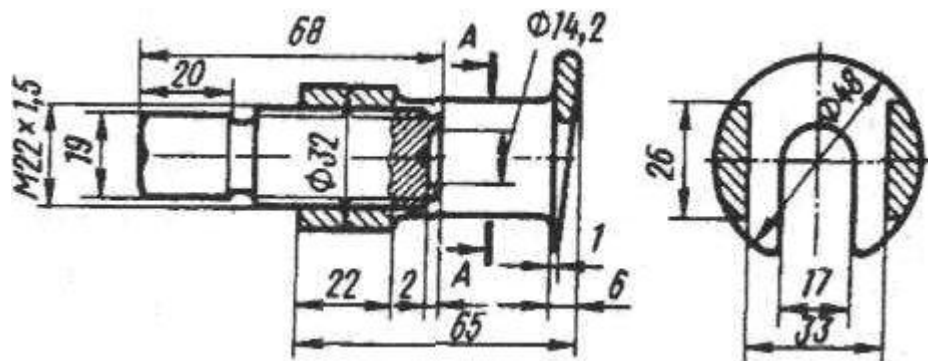


Рисунок 2.2 — Знімач А.47052 шарових пальців рульових тяг

2.2.2 Дефектація деталей

Після розбирання кронштейну бажано перевірити вісь та стан втулок осі маятникового важеля. У випадку пошкоджень чи овальності деталей їх замінюють. Також, доцільно перевірити відсутність деформацій маятникового важеля, а при наявності деформацій важіль також потрібно замінити.

2.2.3 Збирання і встановлення

Безпосередньо процес збирання кронштейну починається зі змащуванням втулки осі маятникового важеля та наповнення простору між ними мастилом Литол-24. Операції збирання кронштейна маятникового важеля обернені розбиранню. У випадку заміни осі, гайку кріплення важеля фіксують динамометричним ключем. Шайбу 6 потрібно встановити виступами вверх. При затяжці гайки 4 важіль у горизонтальному положенні обертатися під дією власної ваги не повинен. Важіль має повертатись при дії сили 1-2 кгс, прикладеної на кінці його.

У випадку, коли виявилось, що гайка 4 перетянута, потрібно її викрутити,

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

підняти шайбу 6 та знову затягнути.

Далі прикріплюють кронштейн болтами з гайками та плоскими шайбами до лонжерона кузова та приєднують шарові пальці тяг до маятничкового важеля.

2.4 Формулювання завдання на відновлення та підвищення зносостійкості вузла тертя

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення зносостійкості підшипника ковзання рульового механізму легкового автомобіля.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати несправності рульового управління, причини їх та способи усунення. Освоїти технологію технічного сервісу рульового управління та кронштейну маятничкового важеля.

2. Обґрунтувати вибір матеріалу підшипника ковзання рульового керування легкового автомобіля.

3. З метою покращення фізичних, механічних та антифрикційних характеристик карбопластиків типу флубон вивчити вплив металізації вуглецевих волокон на властивості матеріалів. Розробити технологію нанесення металізованого покриття на поверхню вуглецевих волокон з наступним введенням їх до складу антифрикційних карбопластиків.

4. Розробити методику та виконати дослідження зносостійкості з визначенням параметрів моделі зношування полімерного базового матеріалу поліуретан УР-70 В та антифрикційного карбопластика флубон-М;

5. Розробити технологію виготовлення підшипника ковзання рульового керування автомобіля з матеріалу флубон-М.

Об'єктом дослідження є підшипник ковзання рульового керування легкового автомобіля.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предметом дослідження є підвищення зносостійкості підшипника ковзання за рахунок заміни базового полімерного матеріалу поліуретан УР-70 В на антифрикційний металізований карбопластик Флубон-М.

Таким чином, проаналізовані підходи до підвищення зносостійкості полімерних матеріалів дозволяють суттєво розширити область їх застосування, в першу чергу, в умовах тертя без мащення при дії динамічних навантажень та підвищених температур для обладнання промислових підприємств.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

У наш час виробництво транспортних засобів оснащено сучасною складною технікою, довговічність роботи якої пропорційно залежить від терміну служби деталей, які є найбільш навантажені. У виробках машинобудівного виробництва широке використання знайшли підшипники ковзання. Вони характеризуються високими антифрикційними властивостями, мають достатню корозійну стійкість, витримують значні питомі навантаження та швидкісні режими.

3.1 Призначення підшипників ковзання

У автомобільній та багатьох інших галузях промисловості знаходиться використання окремих типів підшипників. Підшипники застосовують у тих випадках, коли у механізмах спостерігається вібраційний чи сильний ударний вплив. Елементи, у яких рух відносно контактних частин механізму є ковзання, називають підшипниками ковзання.

Основне призначення підшипника полягає у зменшенні тертя між рухомою та нерухомою частинами того чи іншого обладнання, так як з тертям пов'язані втрати енергії, нагрів деталей та зношення. Опори обертових деталей є підшипники ковзання, які знаходяться в роботі поверхні цапфи по поверхні підшипника [2].



Рисунок 3.1 – Підшипник ковзання

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підшипники ковзання за напрямком навантажень поділяють на дві групи: радіальні, які сприймають навантаження перпендикулярні до осі валу та упорні, що призначені для сприйняття осьових навантажень. У випадку дії радіальних та невеликих осьових навантажень частіше всього використовують так звані суміщені опори, у яких навантаження осьові сприймаються торцями вкладишів. Досить часто використовують у промисловості підшипники ковзання разом з підп'ятниками кочення.

Для того, щоб підшипники менше зношувались та довше працювали повинні змащуватись. Преорітетне поширення віддано підшипникам з рідинним змащенням. Проте, застосовують також підшипники з твердозмащувальними покриттями, із самозмащувальних матеріалів, а також з пластичними та газоподібними мастильними матеріалами.

Щоб між поверхнями, що труться між собою тривалий час міг існувати масляний шар, у ньому повинен бути надлишковий тиск, який само утворюється в шарі рідини при обертання цапфи – гідродинамічне мастило, чи утворюється насосом – гідростатичне мастило. Практично частіше всього застосовують підшипники з гідродинамічним мащенням.

У сучасному машинобудуванні підшипники ковзання використовують найважливіші галузі, вони переважають або застосовуються на рівні з підшипниками кочення.

Досить широко підшипники ковзання застосовують:

- у високошвидкісних машинах, таких як центрифуги, шліфувальні верстати та інше обладнання, коли довговічність підшипників кочення незначна;
- для колінчастих валів, коли при складанні необхідні роз'ємні підшипники;
- при роботі в агресивних хімічних середовищах та у воді, в яких підшипники кочення не працюють;
- для валів, що зазнають вібраційні та ударні навантаження;
- при близько розміщених валах, коли необхідні малі розміри радіальних

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підшипників;

- у тихохідних допоміжних механізмах;
- для досить високих частот обертання – електромагнітні, газові;
- для досить точного та рівномірного обертання і точного повороту – гідростатичні [3].

Широко використовують підшипники ковзання у насосах, компресорах, центрифугах, у двигунах внутрішнього згоряння, парових та газових турбінах, у важких редукторах та іншому обладнанні.

Переваги підшипників ковзання наступні:

- безшумність роботи;
- простота конструкції;
- надійно працюють у високошвидкісних приводах;
- здатні витримувати великі ударні та вібраційні навантаження;
- порівняно малі радіальні розміри;
- роз'ємні підшипники розташовують на шийки колінчастих валів;
- для тихохідних машин можуть мати досить просту конструкцію.

Крім того, підшипники ковзання простіші у виготовленні, легші, ніж підшипники кочення, а також безшумні, мають постійну жорсткість та працюють практично без зносу у режимі рідинного та газового мащення, добре поглинають коливання.

До недоліки підшипників ковзання відносять:

- в процесі роботи постійно необхідно слідкувати за змащування та можливістю перегріву, перерив у подачі мастила приводить до виходу з ладу підшипника;
- спостерігаються значні втрати на тертя при запуску та за недосконалого змащення;
- великі витрати мастильного матеріалу;
- високі втрати на тертя та низький коефіцієнт корисної дії у проміжку його від 0,95 до 0,98.

До суттєвих недоліків підшипників ковзання також зараховують складність

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

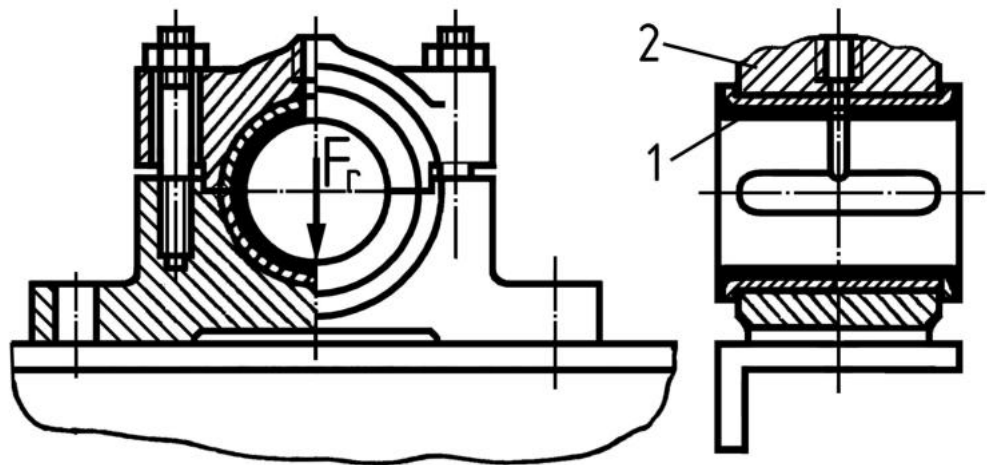
системи мащення при забезпеченні рідинного тертя, а також потреба використання кольорових металів, підвищені пускові моменти та збільшені розміри у осьовому напрямку. При застосуванні рідких та пластичних мастильних матеріалів температура підшипника не повинна перевищувати 150 °С. Проте є самозмащувальні матеріали, які працюють при температурі до 700 °С [4].

Поломки та можливі дефекти підшипників ковзання спричинені тертям:

- дефекти температурні, такі як заїдання або плавлення вкладиша;
- знос абразивний;
- руйнування втомні через пульсації навантажень.

3.2 Принцип роботи підшипника ковзання

Підшипник ковзання складається із корпусу, вкладиша, змащувального та захисного пристроїв. Корпус підшипника може бути цілісним або роз'ємним. Також може бути сконструйований як окремий вузол, який приєднується до автомобіля, або виготовлений як одне ціле з корпусною деталлю, нерухомою або рухомою (рисунок 3.2) [4].



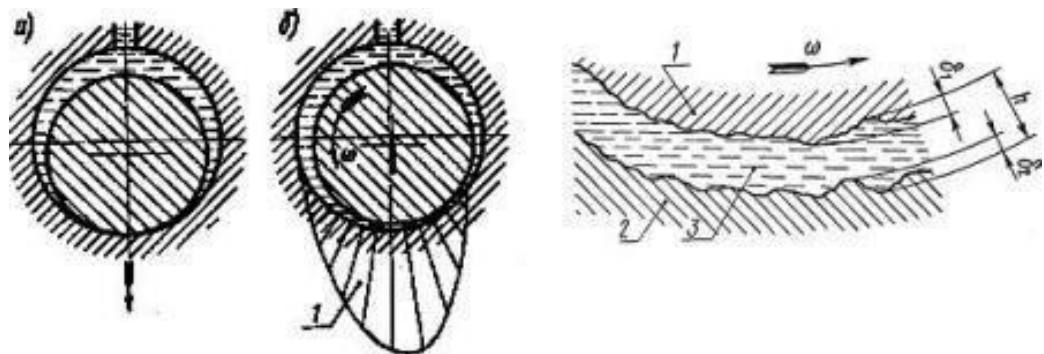
1 – підшипник ковзання; 2 – корпус

Рисунок 3.2 – Конструкція підшипника ковзання

В підшипниках ковзання перебуває напіврідке та рідке мастило, яке послідовно переходить одне у інше по ходу підвищення кутової швидкості валу від

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

нуля до деякого значення. Опорна ділянка валу називається цапфою. Вал у процесі обертання захвачує мастило в клиновий проміжок між цапфою та вкладишем і утворює гідродинамічну підйомну силу, що приводить до спливання цапфи при збільшенні швидкості (рисунок 3.3).



а) у стані спокою; б) при обертанні

Рисунок 3.3 – Положення цапфи в підшипнику

При запуску, коли швидкість ковзання незначна, переважна частина поверхні тертя вкрита тонкою масляною плівкою. Проте, при підвищенні швидкості цапфа спливає і товщина мастильного шару збільшується, лише окремі виступи поверхонь тертя остаються не розділеними мастилом. Мастильний матеріал в даному випадку буде напіврідким. Подальше підвищення кутової швидкості та дотримання цих умов приводить до появи суцільного стійкого шару мастильного матеріалу, що повністю розділяє поверхні тертя. Утворюється рідке мастило, при якому зношення та заїдання відсутні.

Основні робочі параметри підшипника ковзання характеризуються його розмірами довжиною та діаметром, а також в'язкістю мастильного матеріалу та швидкістю обертання валу.

Поверхні підшипника ковзання покриті дуже тонкою плівкою мастильного матеріалу, яка утримується в результаті взаємодії активних молекул мастила з поверхнею вкладиша.

На вершинах нерівностей поверхні підшипників в місцях перевантажень можливе руйнування плівки, тому у цих місцях виникає контакт поверхонь, що безпосередньо труться. Спостерігається адгезійна взаємодія та можливе відривання

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікрочастинок поверхневого шару. Даний режим тертя ковзання вважають граничним тертям. Проте при збільшенні швидкості ковзання режим тертя суттєво змінюється.

Відомі наступні види відмов підшипників ковзання [5].

1. В результаті зношення шийок валів та вкладишів знижуються експлуатаційні характеристики автомобілів таких як, коефіцієнт корисної дії, витрата мастила, а також стійкість роботи при зміні режиму. Щоб підвищити ресурс, використовують поверхневе загартування шийок валу, очищення мастила від бруду та продуктів зносу, охолодження підшипників.

2. При частій зміні режиму роботи відбувається втомне руйнування поверхневого шару вкладишів підшипників транспортних засобів.

Щоб знизити вплив неточності при виготовленні, а також вплив деформацій на знос в процесі експлуатації та руйнації поверхневих шарів вкладиша і шийки валу застосовують самовстановлювальні вкладиші. Такі підшипники здатні забезпечувати незначне обертання вкладиша навколо осі, ортогонально площині дії згинального моменту.

У випадку інтенсивних навантажень підшипника ковзання може відбуватись заїдання цапфи або валу у вкладиші. Спостерігається різке зростання втрат на тертя, інтенсивний розігрів з наступним плавленням матеріалу вкладиша, який частіше всього виготовляють з легкоплавких бабітів. Для відсутності заїдання під час роботи автомобіля з різкими змінами навантаження використовують гідростатичні підшипники, які характеризуються примусовою подачею мастила під тиском в зону контакту валу з вкладишем.

3.3 Підшипникові матеріали

Для виготовлення підшипників ковзання застосовують різні матеріали: метали, сплави, полімерні матеріали, композити та інші. Довгий час основним підшипниковим матеріалом був баббіт, винайденим А. Баббітом у 1839 році. Даний сплав на основі олова чи свинцю з незначними добавками міді, сурми, нікелю

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

допускає цілий ряд варіантів, які відрізняються вмістом компонентів. Сплави бабіту вважають еталоном для оцінки різних підшипникових матеріалів, серед яких відомі досить цікаві поєднання матеріалів, що добре зарекомендували себе, це такі: бабіт та сталь; бабіт, срібло та сталь; сталь та бронза; графіт та бронза; свинець з індієм. Із пластмасових матеріалів для підшипників ковзання зарекомендували себе достатньо найлон та політетрафторетилен, які не потребують змащення. У якості матеріалу втулок підшипників ковзання використовують вуглеграфіти, металокераміку та композити. Усі підшипникові матеріали можна виділити у дві групи: металеві і неметалеві [5].

Що стосується підшипникових металевих матеріалів, серед них найбільш поширеними є бабіти, сплави на основі алюмінію, міді, бронзи, цинку та деякі марки чавуну. Далі розглянемо характеристики таких матеріалів детальніше.

Бабіти на основі олова або свинцю.

Відомо, що для отримання підшипників високої швидкості за потреби значного мащення та доброго тепловідведення при швидкості ковзання до 15 м/с та питомих тисків до 12 МПа, доцільно використовувати олов'яні, свинцеві та свинцево - олов'яні бабіти, такі як: Б89 – склад цієї марки 89 % олова, 9 % сурми та 2 % міді; Б16 – склад наступний 16 % олова, 16 % сурми, 1,8 % міді, а решта буде свинець.

Науковці відмічають основні відмінні риси бабітів: достатня припрацьовуваність деталей, здатність вбирати тверді частинки та відсутність зчеплення зі сталлю. Проте є і недоліки. До недоліків бабітів слід віднести наступні: недостатні механічні властивості при температурі 100 °С та вище, а також низькі теплопровідність і втомна міцність. На рисунку 3.4 зображено підшипник ковзання колінчастого валу двигуна із заливкою бабітом.

Зручні у виробництві олов'яні бабіти, оскільки їх легше заливати по сталі, а також вони не схильні до корозії та менше окислюються. За однакових напруг та однакової твердості при лабораторних дослідженнях на втому змінним вигином бабіти на основі олова та свинцю не різняться за кількістю циклів до початку руйнування; при дослідженнях на втому змінним вигином за однакових

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деформацій перевагу мають свинцеві бабіти, оскільки досить низька величина їхнього модуля пружності.

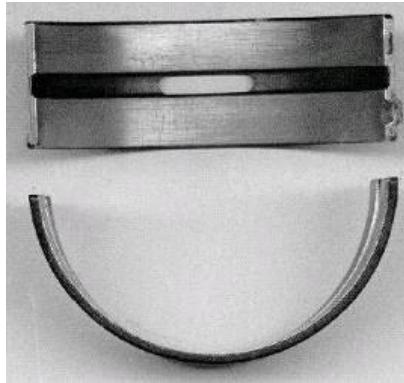


Рисунок 3.4 – Підшипник ковзання колінчастого вала двигуна з бабітом

Бабіти знаходять використання в підшипниках ковзання у вигляді залитого шару по поверхні вкладиша із сталі, бронзи, латуні, чи чавуну.

Вважається найбільш міцнішим з'єднання шару бабіту, який заливається по поверхні вкладиша спеціальним процесом заливки. Даний процес включає підготовку, очищення поверхні корпусу, його обслуговування та безпосередньо заливку. Вкладиші двигуна легкового автомобіля, які повинні бути тонкостінними, одержують штампуванням із біметалевої стрічки, яку виготовляють безперервним залиттям бабіту по сталевій каліброваній рухомій стрічці. Із зменшенням товщини бабітового шару, втомна міцність підвищується. У вкладишів автомобільних двигунів втомна міцність становить 0,1 мм та менше [5].

Підшипникові матеріали на мідній основі.

До матеріалів на мідній основі для підшипників відносять олов'янисті бронзи, свинцеподібні бронзи, олов'яносвинцеподібні та інші. Для підшипників, які здатні працювати при високих питомих навантаженнях та низьких швидкостей ковзання, використовують олов'янисто-свинцеподібні бронзи марки ОС8-12 та ОС6-16 при середніх питомих навантаженнях та швидкостях. Свинцеподібні бронзи, 25% свинцю та більше, застосовують для напружених підшипників двигунів, які мають вигляд шару та залиті по сталі. Можлива індивідуальна заливка вкладишів, або заливка бронзи по рухомій сталевій стрічці, чи отримання на сталевій стрічці шару бронзи із порошків міді та свинцю способом порошкової

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

металургії з подальшим одержанням вкладишів штампуванням.

Свинцевисті бронзи мають гіршу припрацьовуваність і меншу здатність утримувати тверді частинки порівняно з бабітами, проте перевершують їх за максимально допустимою робочою температурою та втомною міцністю. Щоб підвищити втомну міцність у свинцеву бронзу додають 1-2 відсотки олова. Найкращі антифрикційні властивості безолов'янистих бронз, які наближаються до характеристик олов'янистих бронз, має сурм'яниста бронза. А для виготовлення втулок підшипників, що здатні працювати при невисоких питомих навантаженнях та при низьких швидкостях, застосовують також катані бронзи з невеликим вмістом свинцю марки БрОЦС 4-3-4 та мідноцинковий сплав латунь 69 відсотків міді та 4 відсотки свинцю [6].

Підшипникові матеріали на основі цинку.

Для заміни втулок олов'янистосвинцевих бронз застосовують підшипникові матеріали на основі цинку. У випадку сильно навантажених підшипників виконують заливку сплавом ЦАМ9-1,5 сталеву поверхню вкладиша, поверхня якого завчасно оцинкована. При кімнатній температурі твердість цинкових сплавів вища, ніж бронз, ця відмінність при підвищених температурах знижується в результаті більшого зниження твердості цинкових сплавів. Цинкові сплави досить часто також використовують у пластично деформованому стані, в якому вони мають значно вищі механічні властивості.

Підшипникові матеріали на основі алюмінію.

Останнім часом почали широко використовувати в зв'язку з розробкою алюмінієвих сплавів, які близькі за характеристиками до бабітів, і методики покриття ними сталі. Дані сплави поділяють на пластичні, що використовують для покриття робочої поверхні сталевого вкладиша підшипника, та сплави для одержання монометалевих вкладишів чи втулок повністю з одного матеріалу. Із біметалевої смуги методом штампування отримують вкладиші, а зі сплаву ХА750 втулки та вкладиші виготовляють методом відливання.

Сплав ХА750 застосовується у США для отримання монометалевих вкладишів та втулок в заміну олов'янистих та олов'янистосвинцевих бронз. При

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

монтажі монометалевих вкладишів з алюмінієвих сплавів в сталевий корпус потрібно враховувати відмінність у їхніх коефіцієнтах лінійного розширення, які при нагріванні в процесі роботи можуть стати причиною виникнення підвищених напружень та пластичної деформації алюмінієвого сплаву. Після зниження температури вкладиша зазор на валу зменшується, спричиняючи заїдання (рисунок 3.5).

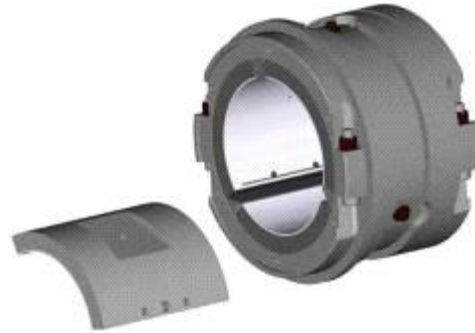


Рисунок 3.5 – Підшипник ковзання на основі алюмінію

Пластичні підшипникові матеріали на основі алюмінію, у порівнянні з бабітами, мають цілий ряд позитивних характеристик: вищу теплопровідність та втомну міцність, достатні механічні властивості за підвищених температур та нижчу питому вагу. Серед недоліків слід назвати: складність одержання, нижча здатність до припрацювання, менша можливість поглинати тверді частинки, необхідність використання валу з підвищеною поліровкою поверхні та високою твердістю. Покращення припрацювання досягається гальванічним покриттям поверхні алюмінієвого сплаву втулки тонким шаром свинцево-олов'яного сплаву у кількості до 8 відсотків свинцю для надання покриттю корозійної стійкості.

Досить часто знайшли використання легкі сплави на алюмінієвій основі, що застосовують для покриття поверхонь тертя підшипників. Використовують Алюмінієво-кремнієві сплави рекомендовані для невідповідальних підшипників (ливарні АЛ3, АЛ4, АЛ5), ці сплави деформуються – АК4, АК 4-1. Найкращими антифрикційними властивостями володіють алюмінієво-олов'яні композиційні матеріали, які отримують способом спіканням порошкових матеріалів. До прикладу АТ20. Характеристиками цих матеріалів близькі до бабітів, проте

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

відзначаються нижчою ціною та вищою зносостійкістю [7].

Чавун для підшипників.

При незначних навантаженнях та низьких швидкостях ковзання застосовують для підшипників чавун. Стосовно антифрикційних властивостей чавун для виготовлення підшипників кращий, а ніж сталь. Потрібні властивості присутні тому, що мастило вимиває графіт, може відбуватися накопичення мастильного матеріалу. Марки антифрикційних чавунів: АЧС, АЧК, АЧВ [8]. Дані чавуни при плавці проходять легування такими елементами як алюміній, нікель, титан, хром, магній, свинець не більш як 0,5 відсотків. Леговані марки чавуну відзначаються стійкістю до морської води і проти багатьох кислот та лугів. Такі чавуни мають твердість за Брінелем до 240 кгс/мм² (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Нерозбірний корпус підшипника ковзання із сірого чавуну

Антифрикційні чавуни з підвищеним вмістом вільного графіту за спокійного навантаження, питомого тиску до 20 МПа та низьких швидкостей ковзання до 5 м/с експлуатуються при режимах наведених у таблиці 3.1 [6].

Металокераміка у підшипниках.

Досить часто ефективними заміниками антифрикційних підшипникових сплавів, таких як бронза, латунь та інші є металокерамічні матеріали. В підшипниках ковзання використовують наступні металокерамічні матеріали: пористе залізо, пористий залізграфіт та бронзографіт, які одержують методом спікання порошків за високої температури. Їх застосовують при швидкості ковзання до 3 м/с, питомому тиску до 6 МПа та незначному мащенні.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Режими роботи підшипників з антифрикційних чавунів

Чавун (марка)	Твердість НВ, 10Н/мм ²	Стан цапфи валу	Питомий тиск, р не більше, МПа	Швидкість ковзання, v не більше, м/с
АЧС-1	177-225	Термооброблена	8,8	2
АЧС-2	186-225	Термооброблена	5,9	3
АЧС-3	157-186	Сира	5,9	3
АЧВ-1	206-255	Термооброблена	11,8	5
АЧВ-2	164-193	Сира		
АЧК-1	193-213	Термооброблена	11,8	5
АЧК-2	164-193	Сира		
ЧМ-1,3	183-257	Термооброблена	19,6	1
ЧМ-1,8	203-257	Термооброблена	0,5	25

Металокераміка має високу пористість до 40 відсотків об'єму, тому здатна вбирати достатню кількість мастила, якого зазвичай вистачає на декілька місяців роботи підшипника без змащування (рисунок 3.7).

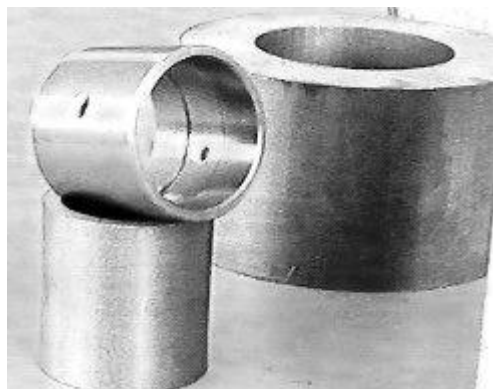


Рисунок 3.7 – Втулки металокерамічні для підшипників ковзання

Використання металокерамічних підшипників різного ступеня пористості залежить від специфіки роботи. При ударні навантаженнях та високих швидкостях, коли необхідна підвищена міцність опори, слід використовувати підшипники з дрібних порошоків. Підшипники металокерамічні пористість від 22 до 28 відсотків рекомендовані для середніх навантажень. У випадку, без додаткового мащення доцільне застосування підшипників з порошоків пористістю від 25 до 35 відсотків. Чим вища пластичність і чим нижча пористість спеченого порошкового металу, тим більше його властивості наближаються до властивостей компактного металу [8].

До підшипникових неметалевих матеріалів належать деякі види пластмас, матеріали на деревинній основі, вуглеграфітові матеріали та гума. Окрім того, існує низка підшипникових матеріалів, які є комбінацією різних матеріалів, таких як метали та пластмаси, вуглеграфітові матеріали та метали тощо.

Підшипникові матеріали на основі пластмас.

Матеріали на основі пластмас для підшипників різняться типом смол та видом наповнювачів, характеристикою технології виготовлення та фізичними властивостями даних матеріалів, а також вимогами їх експлуатації. Отримані з пластмас, підшипники на основі термореактивних фенолформальдегідних смол з наповнювачами такими як текстоліт, деревний шпон лігнофоль або деревна крихта, застосовуються у підшипниках, які часто контактують з водою, та за незначних швидкостей ковзання (рисунок 3.8) [9].

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рисунок 3.8 – Підшипники ковзання з пластмаси

Основним заміником бронзи у підшипниках прокатних станів є текстоліт. Для виготовлення підшипників використовують і термопластичні пластмаси, такі як капрон, поліамід, політетрафторетилен.

Отримують із поліамідів вкладиші та втулки підшипників способом відливанням під тиском або механічною обробкою з литих заготовлених листів. Можливе також нанесення тонкого шару покриття 0,1 мм по металевій основі підшипника. Такий метод застосовують для роботи з мастилом або водою.

Знайшли застосування в підшипниках і поліуретани – гетероцепні полімери, макромолекула яких у складі має уретанову групу. Також в макромолекулах поліуретанів можуть бути присутні прості та складні ефірні функціональні групи: амідна, мочевинна та інші функціональні групи, які і визначають властивості даних полімерів. Поліуретани – це синтетичні еластомери, вони використовуються у промисловості, оскільки мають широкий діапазон міцнісних характеристик. Діапазон температур для роботи від -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Фізико-механічні характеристики поліуретанів приведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні характеристики поліуретанів

Найменування показника	Марка поліуретану		
	НИЦ ПУ-5	ТСКУ-ФЕ-4	Ур-70 В
Твердість за Шором, од.	88–93	40–90	70–80

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Границя міцності при розтягу, МПа	32–45	25–35	23–39
Відносне подовження при розтягу, %	450–580	400–550	670–800
Опір розриву, МПа	7,5–10,0	2,0–3,0	3,0–4,5
Умовна напруга при 100 % подовженні, МПа	7,5–9,5	2,5–3,0	2,0–3,5
Відносне залишкове подовження після розриву, %	Не більше 10	Не більше 10	Не більше 15
Температурний робочий діапазон, °С	50	80	80

Недоліком поліуретанів вважають те, що їх температурний верхній діапазон використання не перевищує температуру 80 градусів.

У порівнянні з іншими пластмасами політетрафторетилен (фторопласт-4) має найнижчий коефіцієнт тертя при малій швидкості ковзання без мащення. Цей коефіцієнт буде постійним у інтервалі температур від мінус 200°С до плюс 260 °С [9].

Металофторопластові підшипники.

Металофторопластові підшипники в основному застосовують у вузлах сухого тертя. В багатьох видів обладнання у вузлах тертя небажане застосування мастила. До прикладу, технологія виробництва в обладнанні харчової, текстильної та хімічної промисловості не допускає змащування. При малих швидкостях металофторопластовий матеріал без змащування витримує великі навантаження до 350 МПа, при цьому працездатний у інтервалі температур від мінус 200 °С до плюс 280 °С. Коефіцієнт тертя даного матеріалу мінімальний при швидкостях ковзання від 0,05 до 0,1 м/с та високих навантаженнях. При сталій температурі збільшення швидкості ковзання підшипників підвищує коефіцієнт тертя. Такий коефіцієнт тертя в залежності від режимів роботи без змащення може перебувати в межах від 0,04 до 0,23.

Текстолітові підшипники.

Текстоліт є шаруватим штучним матеріалом, котрий в основі своїй має наповнювач та сполучний матеріал. У якості наповнювача можуть бути різні види тканин. Від того, яка тканина саме була застосована, виділяють декілька різновидів

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

текстоліту. Текстоліт – конструкційний багатофункціональний матеріал, що використовують у якості основи для одержання підшипників ковзання. Текстолітові підшипники можуть працювати за такого температурного діапазону: від мінус 40 °С до плюс 105 °С. При контакті з водою такі підшипники допускають навантаження від 30 до 35 МПа, а при контакті з мастилом – від 7,5 до 10 МПа (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Текстолітові підшипники ковзання

Дуже позитивний момент, що вироби з текстоліту передбачають безшумність у роботі, достатньо значний термін експлуатації, менша питома ваги у порівнянні з металевими матеріалами. Текстолітові підшипники застосовують у якості елементів турбін, відцентрових насосів та кульових млинів (рисунок 3.9) [9].

Поліамідні підшипники.

Замість кольорових металів та антифрикційних матеріалів широке застосування отримали у підшипниках поліаміди. Поліаміди (капрон) характеризуються достатньо високими механічними властивостями, лише межа міцності на стиск від 70 до 100 МПа не надає можливості перевищувати допустимі тиски вищі 10 МПа, так як у цьому випадку присутні залишкові деформації від 0,02 до 0,03 мм.

Хімічна стійкість поліамідів дозволяє використовувати їх для підшипників в середовищах вуглеводнів, органічних розчинників, мастил, а також у розбавлених і концентрованих розчинах лугів. Однак, вони розчиняються в азотній, сірчаній та інших мінеральних кислотах, а також в оцтовій кислоті та фенолі. На рисунку 3.10

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

зображені вкладиші з капролону, передбачені для підшипників ковзання.



Рисунок 3.10 – Вкладиші з капролону для підшипників ковзання

Властивості поліамідів належать до термопластів, які змінюються при нагріванні та охолодженні, а саме: розм'якшуються при нагріванні, температура плавлення – від 215 до 245 °С, а при зниженні температури знову тверднуть. В результаті цього, експлуатація підшипників з поліамідів без мащення можлива лише за температури вузла не вище 85 °С. В умовах сухого тертя в процесі нагрівання поліамідних підшипників проходить їх окислення киснем повітря. Це супроводжується старінням та утворенням тріщин, а за температури 200 °С – розм'якшенням та налипанням на вал. В даному випадку допустимі тиски мають значення від 5,0 до 7,0 МПа, а швидкість ковзання перебуває у діапазоні від 0,5 до 0,6 м/с. Підшипники ковзання з поліаміду застосовують для деталей механізмів в судноремонті, а також в енергетиці [9].

Графітокутові підшипникові матеріали.

Графітокутові матеріали представляють собою результат пресування і термообробки суміші нафтового коксу та кам'яновугільної смоли, додатково при введені у цю суміш невеликої кількості натурального графіту. Такий матеріал використовується для підшипників, які працюють без мащення при незначних питомих навантаженнях за температури до 480 °С у повітряному середовищі. Властивість пористості графітокутових матеріалів надає можливість наповнювати

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

просочуванням їх смолами або металами, надаючи їм особливих характеристик.

При роботі без мащення металографітокутовуглецеві матеріали допускають питоме навантаження до 2,5 МПа і до 4,0 МПа при роботі зі змащуванням [9].

Інші підшипникові матеріали.

Інколи для підшипників ковзання використовують сплави на основі кадмію, які за навантаженнями знаходяться між бабітами на основі олова та свинцевою бронзою. У США такі сплави застосовують для підшипників автомобільних двигунів. Для найбільш напружених підшипників поршневих авіаційних двигунів застосовують сплави на основі срібла [9].

3.4 Властивості політетрафторетилену

В даний час в рухомих вузлах обладнання досить ефективно застосовують дисперснонаповнені композиційні полімерні матеріали та металополімерні матеріали з політетрафторетиленом (ПТФЕ).

Політетрафторетилен винайдений ученим Р. Планкеттом у 1938 році. Він спостерігав за газоподібним тетрафторетиленом та виявив, що закачаний ним у балони даний полімер під тиском спонтанно полімеризується у білий парафіноподібний порошок.

Завдяки цілому комплексу властивостей, тетрафторетилен досить широко використовують у побуті та техніці.

Хімічні властивості політетрафторетилену.

Політетрафторетилен (Ф-4) одержують методом полімеризації тетрафторетилену, хімічна формула наступна: $(-C_2F_4-)_n$ (рисунок 3.11) [5].

Молекули політетрафторетилену розташовані у вигляді спірального зигзагоподібного ланцюга правильної форми. Оскільки розміри атома фтору, порівнюючи з розмірами атомів хлору, незначні, то між вуглецем та фтором утворюється дуже міцний зв'язок до 441,6 кДж/моль.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Рисунок 3.11 – Молекулярний вид політетрафторетилену

Впорядковане розташування та невеликі розміри макромолекул політетрафторетилену ведуть до того, що між ними утворюються значні сили міжмолекулярної взаємодії. Даний полімер містить до 85 відсотків кристалічної фази. Аморфна частина політетрафторетилену характеризується температурою склування 120 °С. Проте навіть при низьких температурах полімер не втрачає еластичності, в зв'язку із гнучкістю макромолекул та невеликою величиною міжмолекулярних сил.

За хімічною стійкістю політетрафторетилен перевищує спеціальні сталі, благородні метали та емалі. Навіть при високій температурі кислоти, луги, окислювачі, розчинники не мають впливу на ПТФЕ. Досліджено, що на політетрафторетилен за високих температур впливають лише трифтористий хлор, елементарний фтор, розплави лужних металів та розчини їх в аміаку. Вироби з політетрафторетилену можуть працювати при температурі від мінус 269 до плюс 260 °С, а також та лише короткочасно при температурі до плюс 400 °С. Завдячуючи відмінним діелектричним властивостям політетрафторетилен є унікальний діелектрик у широкому діапазоні температур та частот.

Механічні властивості політетрафторетилену.

Політетрафторетилену відповідають достатньо високі механічні властивості.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При низьких температурах даний полімер проявляє високу міцність та в'язкість, достатнє самозмащення, а починаючи з температури мінус 80° С зберігає гнучкість.

При зовнішньому навантаженні політетрафторетилен має здатність до холодної течії. Порівнюючи з іншими полімерними матеріалами ПТФЕ має найнижчий коефіцієнт тертя по сталі 0,04.

При нагріванні даного полімеру вище плюс 327°С проходить плавлення кристалітів. При температурі розкладання плюс 415 °С полімер переходить у в'язкотекучий стан.

Фізичні властивості політетрафторетилену.

Політетрафторетилен – це біла прозора речовина, на вигляд нагадує поліетилен чи парафін. Щільність ПТФЕ перебуває у межах: від 2,18 до 2,21 г/см³. Окрім того, даний полімер має високу теплостійкість та морозостійкість, перебуває гнучким та еластичним при температурі від мінус 70 до плюс 270 °С. ПТФЕ є прекрасний ізоляційний матеріал. Також, політетрафторетилен має низький поверхневий натяг та адгезію, не вбирає ні воду, ні жири, ні органічні розчинники. Загальні властивості ПТФЕ наведені в таблиці 3.3 [6].

Таблиця 3.3 – Загальні властивості політетрафторетилену

Назва	Показник
Зовнішній вигляд	білого кольору порошок, без видимих включень
Масова частка вологи, %	не більше 0,02
Щільність, г/см ³	не більше 2,18 – 2,21
Щільність при розриві незагартованого зразка, МПа (кгс/см ²)	не менше 15 (150) – 26 (260)
Відносне видовження при розриві незагартованого зразка, %	не менше 150 – 350
Електрична міцність, кВ/мм	не менше 50 – 60
Середній розмір частинок, мкм	100 – 80
Температура плавлення, °С	327
Температура експлуатації, °С	260 – 270

3.5 Застосування політетрафторетилену

ПТФЕ має досить широке застосування у технологічному виробництві, завдяки своїм властивостям.

По-перше, застосовують у хімічній промисловості як антикорозійний матеріал. Виготовляють з цього полімеру: насоси, труби, ректифікаційні колони, клапани, облицювальні плитки, сальникові набивки та різні апарати.

Широке застосування, як діелектрик в електротехніці, успішно використовують у техніці високих та ультрависоких частот. Як приклад, можна привести прокатану фторопластову плівку, яка має наступне застосування: при отриманні високочастотних проводів, конденсаторів, кабелів, як ізоляційний матеріал для котушок, пазів електричного обладнання та багато інших електроізоляційних виробів.

Особливість застосування у машинобудуванні полягає в тому, що ПТФЕ має дуже низький коефіцієнт тертя. Характеристики його покращуються при введенні різних наповнювачів. Як конструкційний матеріал політетрафторетилен використовується при виготовленні різних деталей та вузлів обладнання і апаратів. Досить широке застосування політетрафторетилен має при виготовленні підшипників, які працюють з обмеженим мащенням або без мащення, а також при наявності корозійного середовища як рідкого так і газоподібного.

Політетрафторетилен в медичній галузі широко використовують у серцево-судинній відновлювальній хірургії. Практика вказує на те, що вироби з цього полімеру у 2-3 рази у порівнянні з іншими матеріалами скорочують термін реактивних тканинних процесів, до того ж не спричиняють утворення тромбів та відкладення фібрину на поверхні. Також ПТФЕ застосовують при виготовленні удержувачів протезів мітральних клапанів серця, що допомагають при заміні хворих клапанів штучними [6].

3.6 Антифрикційні матеріали на основі політетрафторетилену

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Вчені вважають, найефективнішими з точки зору використання у жорстких умовах сухого тертя будуть антифрикційні полімерні матеріали на основі політетрафторетилену.

Для політетрафторетилену характерним є достатньо високий статичний коефіцієнт тертя, але у процесі тертя ковзання на поверхні даного полімеру спостерігається поява тонкого орієнтованого шару, який приводить до вирівнювання статичного та динамічного коефіцієнтів тертя і як результат плавному руху при ковзанні. У випадку зміни напрямку ковзання присутність високоорієнтованої поверхневої плівки веде до тимчасового збільшення коефіцієнту тертя, чисельна величина якого знову знижується у міру переорієнтації поверхневого шару.

Дана поведінка політетрафторетилену в умовах тертя надала можливість його широкого використання у промисловості, де основним чином застосовують ненаповнений цей полімер для виробництва підшипників. Частіше всього підшипники, що не піддають змащенню, повинні працювати при більш високих швидкостях тертя. Тому для ненаповненого політетрафторетилену характерні високі значення коефіцієнта тертя та швидкості зносу. Композиційні полімерні матеріали, на основі ПТФЕ, що не змащуються і працюють в таких умовах, широке застосування знайшли для виготовлення підшипників.

Самий простий спосіб зниження відносно високої швидкості зносу політетрафторетилену за сухого тертя вважається введення порошкоподібних наповнювачів. При цих умовах спостерігається підвищення опору повзучості при стисканні та відбувається значне підвищення зносостійкості за сухого тертя. Введення оптимально необхідної величини наповнювача дає можливість підвищити опір зносу до 10^4 разів. Для модифікації ПТФЕ використовують такі наповнювачі: прихованокристалічний графіт, вуглецеве волокно, дисульфід молібдену.

Прихованокристалічний графіт.

Природний графіт одержують методом розмелювання графітових руд, він характеризується недосконалою текстурою, що досить часто містить у складі

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

домішки тонкодисперсної вуглецевої речовини. Вміст вуглецю можливий від 80 до 90 відсотків. При нагріві до температури 3700 °С без доступу повітря графіт не зазнає жодних змін. Низька твердість та достатня спаяність графіту, при проведенні ним по папері залишиться жирний дотик. Такі властивості графіту передбачені слабкими зв'язками між атомами.

Властивості міцності даних зв'язків залежать від низької питомої теплоємності графіту та його високої температури плавлення. Завдячуючи цьому, графіт є вогнетривкий. Також, графіт дуже добре проводить тепло та електричну енергію, є стійким до багатьох кислот та інших хімічних препаратів. Окрім того, він має високу змащувальну та покривну здатність, добре змішується з іншими речовинами, йому відповідає малий коефіцієнт тертя.

Саме тому графіт достатньо широко застосовується у багатьох галузях промисловості, у тому числі і в автомобілебудуванні.

При дії температури на прихованокристалічний графіт проходять процеси, які приводять до зміни характеристик. З підвищенням температури до 2400–2600 °С графіт збільшує міцність, а потім різко знижується міцність і при температурі 3000 °С наближається до міцності, яка є характерною для температури 20 °С. Збільшення відбувається лінійно, і при температурі 2500 °С механічна міцність прихованокристалічного графіту в 2 рази вища, ніж при кімнатній температурі. Також при підвищенні температури зростає пластичність матеріалу. Якщо деформація за температури 20 °С наближається до 0,3 %, то при температурі 2800 °С вона може досягти 10 %, а це уже руйнування.

Підвищення механічної міцності графіту при зростанні температури можна пояснити зниженням напружень у його структурі. Ці напруження утворюються в матеріалі під час охолодження після графітації через значну анізотропію термічного розширення в напрямках, паралельному та перпендикулярному до осі. [6].

Вуглецеве волокно.

Вуглецеве волокно (ВВ) було винайдено та запатентовано американським вченим Т. Едісоном у 1880 році, як нитки розжарювання у електричних

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лампочках. Волокна ці отримували методом піролізу віскозного чи бавовняного волокна, вони характеризувались крихкістю та досить високою пористістю, тому пізніше були замінені вольфрамовими нитками [10].



Рисунок 3.12 – Порошкоподібне вуглецеве волокно

Пізніше було запропоновано одержувати вуглецеві волокна на основі різних природних волокон (рисунок 3.12).

Вуглецеві волокна за своїми властивостями стали одними з найкращих матеріалів для армування, оскільки вони мають високу термостійкість, добрі теплоізоляційні характеристики, корозійну стійкість до впливу газів та рідких середовищ, а також високі питомі жорсткість та міцність.

Вуглецеві волокна мають досить високу теплостійкість, при дії тепла до 1600–2000 °С при відсутності кисню їх механічні показники не змінюються.

Окрім того, ці волокна досить стійкі до агресивних хімічних реагентів, проте при нагріванні у присутності кисню окислюються. У повітряному середовищі гранична температура експлуатації ВВ можлива від 300 до 350 °С. Властивості вуглецевих волокон надають можливість застосовувати їх для армування теплозахисних матеріалів, як наповнювачі у різних видах вуглепластиків [6].

Дисульфід молібдену.

Дисульфід молібдену – це неорганічна хімічна сполука чотиривалентного молібдену із двовалентною сіркою, хімічна формула – MoS_2 (рисунок 3.13). Ця сполука у вигляді порошку блакитно-сірого або чорного кольору, на дотик жирна,

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

твердість якої за шкалою Мооса перебуває у межах від 1 до 1,5. Кожен атом Мо у дисульфіді молібдену розташований в центрі тригональної призми і має навколо себе шість атомів сірки (рисунок 3.14).



Рисунок 3.13 – Вид дисульфиду молібдену

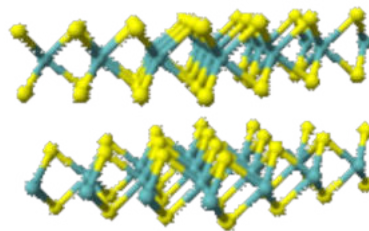


Рисунок 3.14 – Кристалічна решітка дисульфиду молібдену

Тригональна призма орієнтована таким чином, що в кристалі атоми молібдену розташовані безпосередньо між двома шарами атомів сірки (рисунок 3.14). Із-за слабких вандерваальсових сил взаємодії між атомами сірки у дисульфіді молібдену, шари мають можливість легко ковзати один відносно одного. Це веде до появи мастильного ефекту.

У воді дисульфід молібдену не розчинний, також він не реагує на розведені кислоти та луги.

Вказані властивості визначили застосування даного матеріалу як мастила. Дисульфід молібдену розмірами часточок від 1 до 100 мкм вважають сухою змащувальною речовиною. Дуже мало є альтернатив, які при високих змащувальних можливостях, зберігають стабільні властивості до температури 350 °С в окислених середовищах і у вакуумі. MoS_2 часто досить є компонентом композиційних матеріалів та сумішей полімерів з низьким коефіцієнтом тертя.

Отже, виконавши аналіз матеріалів підшипників ковзання, напрошується

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

висновок, що з ціллю підвищення терміну експлуатації вузла підшипник ковзання – вісь маятникового важеля рульового керування автомобіля буде доцільно замінити поліуретан на флубон, фторопластовий антифрикційний карбопластик, який є більш зносостійкий у даних умовах і який володіє кращими властивостями.

Полімерний антифрикційний матеріал під назвою флубон створений вченими на основі композиції політетрафторетилену, сополімерів етилену та тетрафторетилену, а також фторомістких полімерів, модифікованих вуглецевих волокон та волокнистих, дисперсних наповнювачів. Флубон одержують двокомпонентним та багатоконпонентним. Існують наступні марки матеріалу: 15, 20, 15-М, 15/20, К15УВ5, ДМГ-С1.

Багатоконпонентні флубону містять іще додатково тверді мастила чи комплекс твердих мастил, дисперсні та волокнисті з модифікованою поверхнею метали, суміші вуглецевих волокон, які різняться за властивостями або модифікованих металами, органічними або неорганічними агентами. Також для отримання необхідних характеристик в якості наповнювачів застосовують дисперсні або волокнисті термостійкі полімери, оксиди металів та неметалів, карбіди, солі, суміші вуглецевих волокон з борними, скляними, азбестовими, базальтовими вклиненнями.

Застосовують флубон для виготовлення деталей вузлів тертя таких, як підшипників ковзання, опорних підшипників, торцевих ущільнень, блокових та волокнистих набивань, ущільнюючих кілець, сепараторів підшипників кочення, а також ущільнень нерухомих з'єднань.

Робоча температура матеріалу флубон знаходиться в межах від 23 до 533 К, а короткочасно до 593 К. При граничних температурах флубон зберігає високі механічні властивості. Обмеження по питомому навантаженню від 3 до 10 МПа, швидкість ковзання до 5 м/с. Механічні властивості даного композиційного матеріалу широко змінюються за складом та технологією.

Цей полімерний матеріал характеризується високою зносостійкістю за граничних та помірних навантажень, хімічним опором, здатністю працювати в газах, низьким коефіцієнтом тертя, властивостями самозмащення, досить високими

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

властивостями ущільнювачів, індиферентністю до природи контактної поверхні. Флубон практично не зношує контактну поверхню.

При застосуванні композиційного матеріалу флубон досягається довговічність та надійність обладнання, економія змащувальних та паливних матеріалів, а також спостерігається підвищений хімічний опір, зниження металоємності деталей та зменшення витрат на обслуговування і ремонт.

Досить важливою властивістю матеріалу є опір течії через зазор ущільнювача, що рахується по критичному навантаженню при підвищенні тиску на деталь при швидкості 65 МПа/с та по повзучості, тобто деформації при сталому тиску і температурі.

Флубон на ряду зі зносостійкістю характеризується також хімічним опором, низьким коефіцієнтом тертя та самозмащувальними властивостями і ущільнювачами.

Вироби з композиту флубон застосовують у вузлах тертя технологічного обладнання досить різного призначення – це підшипники ковзання; опорних підшипників; різні види ущільнень кільцевих, торцевих; сепаратори підшипників кочення. Застосування цих вузлів дає можливість досягати значно вищу довговічність та надійність транспортних засобів та устаткування, економія мастильних матеріалів, суттєве зниження металоємності виробів та зниження витрат на ремонтне обслуговування транспорту, а також на регенерацію каталізаторів хімічних виробництв.

Ущільнення з композиційного матеріалу флубон по довговічності перевершують у десять разів матеріали: фторлон-4, Ф4К20, Ф4К20-1, АФГМ, АФГ-5М, Ф4С15, АГ-15ООСО5, 2П-1000, капролон-В, а також у п'ять разів матеріали іноземних фірм. Основні фізико-механічні властивості антифрикційних фторопластових матеріалів наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Фізико-механічні характеристики фторопластових антифрикційних полімерних матеріалів

Фізико-механічні	Марка композиційного полімерного матеріалу
------------------	--------------------------------------------

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

показники	АФГМ	Ф4К20	Ф4К15М5	Флубон-М
Щільність кг/м ³ · 10 ³	2,1	2,12–2,15	2,19	2,0–2,4
Міцність, МПа				
при розтягу	–	12,3	13,2	12–17
при згині	10	11–14	-	–
при стискуванні	15 (при деформації 10%)	21,3	18,8	30–33
Відносне подовження, %	100	100	110	6–30
Твердість за Брінелем, МПа	30	40–50	60	50–60

Аналіз результатів фізичних та механічних досліджень антифрикційних фторполімерних матеріалів підтвердив, матеріал Флубон-М переважає механічні властивості інших антифрикційних матеріалів, в 1,5–2 рази.

3.7 Визначення умов роботи вузла тертя втулка - вісь маятника

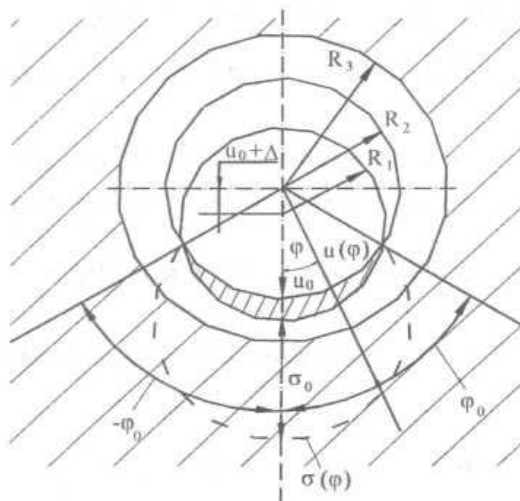


Рисунок 3.15 – Розрахункова схема підшипника ковзання

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

В схемі розрахунку підшипника ковзання приведені наступні позначення:

R_1 – радіус поверхні контактної валу;

R_2 – радіус робочої контактної внутрішньої поверхні втулки;

R_3 – радіус поверхні зовнішньої втулки;

Δ – радіальний зазор в контакті;

φ – кутова поточна координата;

$2\varphi_0$ – повний кут спряження під навантаженням;

σ_0 – максимальний тиск в контакті.

3.7.1 Розрахунок тисків

Вихідні дані для розрахунку вузла тертя [13,14].

Основні розміри:

– номінальний радіус валу та внутрішнього радіусу втулки – це $R_1 = R_2 = R = d/2 = 20/2 = 10$ мм;

– максимальний зазор у контакті $\Delta = 0,5$ мм;

– розмір втулки по твірній $z = 15$ мм;

– зовнішній радіус втулки $R_3 = 12$ мм; товщина втулки $h = R_3 - R_2 = 12 - 10 = 2$ мм.

Прикладене навантаження:

– повне навантаження $Q_n = 15$ кг;

– питоме навантаження, тобто на одиницю лінії контакту по твірній:

$$Q = \frac{Q_n}{15} = \frac{15}{15} = 1 \quad (\text{кг/мм}) \quad (3.1)$$

Механічні властивості матеріалів:

– для матеріалу валу, виготовленого із сталі 40Х

$E_1 = 2,1 \times 10^4$ кг/мм²; $\mu_1 = 0,3$;

– для матеріалу втулки з поліуретану Ур-70 В

$E_2 = 0,8 \times 10^4$ кг/мм²; $\mu_2 = 0,35$;

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

– для матеріалу втулки з флубону-М

$$E_2 = 0,75 \times 10^4 \text{ кг/мм}^2 ; \mu_2 = 0,32.$$

Розрахунок тисків в зоні контакту.

Визначення кута $2\varphi_0$:

– розраховуємо коефіцієнт податливості втулки по формулі

$$k_2 = \frac{(1 - 2\mu_2) \times (1 + \mu_2) \times \left[\left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 - 1 \right] \times R_2}{E_2 \times \frac{e}{e} + (1 + 2\mu_2) \times \left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 \times \frac{e}{e}} , \quad (3.2)$$

$$k_2 = \frac{(1 - 2 \times 0,32) \times (1 + 0,32) \times \left[\left(\frac{12}{10} \right)^2 - 1 \right] \times 0}{0,75 \times 10^4 \times \frac{e}{e} + (1 + 2 \times 0,32) \times \left(\frac{12}{10} \right)^2 \times \frac{e}{e}} = 0,8298 \times 10^{-4} \text{ мм}^3 / \text{кг}$$

– коефіцієнт податливості валу буде:

$$k_1 = \frac{(1 - 2\mu_1) \times (1 + \mu_1) \times R_1}{E_1} , \quad (3.3)$$

$$k_1 = \frac{(1 - 2 \times 0,3) \times (1 + 0,3) \times 0}{2,1 \times 10^4} = 2,48 \times 10^{-4} \text{ мм}^3 / \text{кг}$$

– розраховуємо параметр безрозмірного навантаження:

$$\bar{Q} = \frac{Q \times (k_1 + k_2)}{R_2 \times D} , \quad (3.4)$$

$$\bar{Q} = \frac{1 \times (2,48 \times 10^{-4} + 0,8298 \times 10^{-4})}{10 \times 0,5} = 0,73396 \times 10^{-4}$$

З таблиці А.1 [12] знаходимо кут контакту, він буде мати значення $\varphi_0 = 2,7^\circ$.

Визначення контактного тиску.

Контактний максимальний тиск отримуємо, підставивши k_1 , k_2 , Δ і φ_0 у формулу:

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_0 = \frac{D}{k_1 + k_2} \times \left(\frac{1}{\cos j_0} - 1 \right), \quad (3.5)$$

$$s_0 = \frac{0,5}{2,48 \times 10^{-4} + 0,8298 \times 10^{-4}} \times \left(\frac{1}{\cos 2,7} - 1 \right) = 1,64 \text{ кг/см}^2$$

3.7.2 Розрахунок шляху тертя

Шлях тертя підраховуємо за формулою:

$$S = p \times d \times \tau, \quad (3.6)$$

де d – внутрішній діаметр втулки, $d = 20$ мм;

n – частота обертання осі маятника, $n = 0,5$ об/с;

τ – час експерименту, с

$$S = p \times 20 \times 0,5 \times 60 = 1884955 \text{ мм.}$$

4 ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ

4.1 Вибір методу підвищення зносостійкості

У автомобілів моделей ВАЗ та модифікацій втулка маятника виготовляється з полімерного матеріалу поліуретану марки УР-70В. Відновити зносостійкість втулки за допомогою методів наплавлення чи напилення неможливо. Альтернативним способом відновлення та підвищення зносостійкості є заміна базового матеріалу на більш зносостійкий – карбопластик Флубон-М.

4.2 Технологія виготовлення підшипника ковзання

Технологічна схема процесу виготовлення підшипника ковзання приведена у

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Схема технології виготовлення підшипника ковзання

№ позиції	Операція та прилади	Найменування
1	2	3
10	Операція	Розрізання вуглецевого тканини на окремі шматки
	Прилади	Прилад для порізки паперу Брм-4
15	Операція	Грубе подрібнення вуглецевого матеріалу
	Прилади	Дробилка КДУ-2,0
20	Операція	Тонке подрібнення вуглецевого матеріалу
	Прилади	Млинок МРП-1М
25	Операція	Металізація вуглецевого волокна
	Прилади	Змішувач
Змішування порошку фторопласт- 4 з наповнювачами		
30	Операція	Перемішування порошку у змішувачі
	Прилади	Змішувач-дозатор
40	Операція	Подрібнення композиції
	Прилади	Млинок МРП-1М

Продовження таблиці 4.1

Підготовка сировинного матеріалу		
1	2	3
50	Операція	Сушіння композиції
	Прилади	Сушильна установка ДПГЮ 023.000
60	Операція	Розрихлення композиції
	Прилади	Млинок МРП-1М
70	Операція	Приготування наважок композиції
	Прилади	Ваги ВНЦ-10
Пресування заготовок композиційного матеріалу		
80	Операція	Пресування заготовок з композиції
	Прилади	Прес П-6022
Термічна обробка заготовок		
90	Операція	Термообробка заготовок
	Прилади	Піч А-114М
Контроль якості заготовок		
95	Операція	Контроль готової продукції

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

4.2.1 Підготовка сировини

4.2.1.1 Порізка вуглецевої тканини на шматки

Перед порізкою упаковку з вуглецевої тканини Текарм потрібно зняти, після чого тканину протирають бавовняною м'якою серветкою. Рулон, призначений для розрізання, укладають на передній стіл і розрізають ножем поперек на відрізки завдовжки 20–30 мм. Можлива порізка вуглецевої тканину машиною для порізки паперу БР-72.

4.2.1.2 Грубе подрібнення вуглецевої тканини

Виконують подрібнення вуглецевого матеріалу за допомогою молоткової дробарки КДУ-2. Це прилад, в якому подача шматків вуглецевого матеріалу здійснюється транспортером на пристрій для різання, а далі шнеком подається на систему рухомих ножів апарату вторинної порізки. На вторинній порізці відбувається зменшення вуглецевої тканини до розмірів 0,1–0,2 мм, з наступним сепаруванням через отвори решітки з діаметром $(1 \pm 0,25)$ мм і збиранням у приймачі.

Щільність волокна насипна має бути не менше 50–160 кг/м³. Не допускається змішування вуглецевих матеріалів різних марок. При подрібненні іншої марки матеріалу подрібнювач обов'язково необхідно почистити механічним методом. У подрібнювачі КДУ-2 передбачена шафа керування, де розміщене автоматичне блокування перевантаження приладу вторинної порізки. У випадку попадання металевих предметів чи перевантаження приладу вторинної порізки шпилька зрізається, що приводить до від'єднання двигуна від мережі напруги. При потребі подрібнювач моментально може бути зупинений кнопкою "зупинка" чи рубильником шафи керування.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

4.2.1.3 Тонке подрібнення вуглецевої тканини

Щоб отримати більш мілке подрібнення вуглецевих волокнистих матеріалів (ВВМ) до 0,05–0,6мм та змішування композиту застосовується подрібнювач-змішувач типу МРП-1 з плоским обертовим ножом, розташованим на дні ємності.

Параметри подрібнювача наступні: частота обертів ножа 120 с^{-1} , діаметр ножа 0,205 м, лінійна швидкість становить 78 м/с.

4.2.2 Металізація вуглецевих волокон

Проблематика осадження металізованих покриттів на вуглецеві волокна та їхня роль у створенні композиційних матеріалів привертає все більшу практичну увагу та активно досліджується. Способи одержання металізованих вуглецевих волокон (ВВ) та тканин поділяють на:

- фізичні – це вакуумне осадження, напилення, фольгування, просочення металічними розплавами та інші;
- фізико-хімічні, до них відносять електрохімічне (гальванічне) нанесення, окрашення металевими фарбами, газова та рідиннофазна металізація;
- хімічні – це розклад газоподібних сполук металів та хімічне відновлення.

З ціллю металізації вуглецевих волокон найбільше застосовують два способи – це хімічна металізація та гальванічне нанесення.

Досить широке поширення даних методів пояснюють перевагами, а саме:

- тонкі шари металу, одержані вакуумною чи хімічною металізацією, застосовують часто як електропровідний шар, на який далі наносять товстий шар металу електрохімічним методом;
- використовувані способи створення електропровідних шарів мають утворювати міцний зв'язок волокон з металом.

Таблиця 4.1 – Перелік технологічних операцій хіміко-гальванічної металізації вуглецевих волокон та їх мета

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номер операції	Найменування операції	Мета операції
1	Кондиціонування волокон (знежирення)	Видалити різні забруднення та створити однорідність поверхні
2	Травлення	Створити мікропористість поверхні та змочуваність
3	Активація	Отримати поверхню каталітично активною, з можливістю ініціювати хімічне відновлення металу
4	Хімічна металізація	Одержати шар металу способом хімічного відновлення
5	Нанесення електрохімічного покриття	Покращити фізико-механічні та інші властивості волокон
6	Контроль якості покриттів	Впевнитись у міцності та стійкості покриттів у діапазоні можливих виробничих умов.

У тому випадку, коли електропровідний шар формують, використовуючи хімічні методи, цей процес називають хіміко-гальванічною металізацією, перелік технологічних етапів якої представлені в таблиці 4.1.

4.2.3 Властивості та застосування металізованих вуглецевих волокон

В композиційних металізованих матеріалах (КММ) на основі вуглецевого волокна та металевої матриці досить вдало поєднуються а також доповнюються властивості металів та вуглецевих волокнистих матеріалів. Додавання вуглецевого волокна до металів дозволяє суттєво покращити їхню теплостійкість, опір до теплових та ударних навантажень, підвищити втомну міцність і знизити схильність до повзучості. Більша цікавість відповідає армуванню металів вуглецевими волокнистими матеріалами для одержання композиційних металізованих матеріалів з низькою густиною, проте високою межею міцності і високим модулем

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

пружності [15].

В свою чергу, метали здатні захищати волокно від дії кисню навколишнього середовища, що наряду з підвищенням теплостійкості веде до збільшення граничних температур експлуатації композиційних металізованих матеріалів.

Металізовані волокна сприяють підвищенню міцності композиційних металізованих матеріалів на міжшаровий зсув, стиск і розтяг завдяки значному посиленню адгезійної взаємодії з матрицею.

Цю проблему сумісності вуглецевих волокон із металами детально досліджував науковець Морзе, який розробив термодинамічні критерії стабільності системи матриця–волокно.

Головним критерієм сумісності з точки зору термодинамічної та хімічної стабільності є відсутність взаємної розчинності волокна й матриці при температурі плавлення матриці. Такий підхід дозволяє ефективно підбирати сумісні компоненти композиційних матеріалів, а також бар'єрні покриття, які запобігають або сповільнюють їхню взаємодію.

Мідь, нікель, кобальт та реній привертають особливу увагу завдяки високій термічній стабільності при взаємодії з вуглецем, що зумовлено їхньою низькою розчинністю вуглецю в твердому стані, відсутністю утворення карбідів і досить високими евтектичними температурами в цих металевих системах.

Підвищений інтерес до даних систем передбачений в зв'язку із результатами досліджень по аналізу змочування розплавами цих металів вуглецевої основи, представлених в роботах [15,16]. Вказано, що кобальт, паладій та нікель мають при контакті з вуглецевою основою, у вигляді підкладки, показник крайового кута змочування величиною 50-70 градусів, тобто відбувається її змочування. З наукових літературних джерел вуглець дуже добре розплавами перехідних металів змочується. При застосуванні неперехідних металів можливість змочувати вуглець в основному можуть лише сильні карбідоутворювачі, такі як алюміній та кремній. Цілий ряд перехідних металів, достатньо змочуючи карбіди, можуть бути застосовані як бар'єрні покриття при утворенні композиційних вуглеметалевих матеріалів з матрицею з алюмінію, заліза, титану, вольфраму, а також магнію та

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ніобію, які є сильними карбідоутворювачами. Така ідея була застосована при розробці та дослідженні композиційних матеріалів із алюмінієвою та магнієвою матрицями.

Метод нанесення бар'єрних карбідних покриттів на вуглецеві волокнисті матеріали передбачає обробку волокон розплавами інертних металів, що ведуть себе як розріджувачі і які у своєму складі містять деяку кількість сильних карбідоутворювальних елементів, таких як ніобій чи титан.

Рівень взаємодії матриці з армувальними волокнами оцінюється за розмірами перехідної зони між ними, яка характеризує зв'язок складових композиційного матеріалу та може змінюватися залежно від системи від кількох ангстрем до десятків мікрон.

З позиції механічних властивостей композиційних матеріалів, міцність зв'язку між їхніми складовими, тобто рівень їхньої взаємодії, підтверджує при навантаженні перерозподіл напружень між волокнами, а отже, має вплив на величину міцності при міжшаровому зсуві. З точки зору процесу формування композиційного матеріалу, міцність зв'язку можна оцінити за адгезійними характеристиками, зокрема за величиною роботи адгезії. Застосовуючи дані експериментальних досліджень можна підрахувати величину роботи адгезії стосовно вуглецю для багатьох рідких металів.

Ці дослідження вказують на те, що такі метали як залізо, нікель та кобальт, які в необхідному рівні змочують вуглець, підтверджують найвищу роботу адгезії у порівнянні із свинцем, міддю та алюмінієм. Частіше всього металеві розплави набагато краще змочують вуглець алмазоподібний, ніж це виконує графіт [17].

Отже, основним показником, який визначає застосування металізованих волокон на практиці, науковці вважають адгезію металевих покриттів і волокон. Також, від адгезії мають залежність і деякі інші характеристики металізованих волокон, це такі: теплостійкість та зносостійкість. Нормальною вважають адгезію на відшарування у межах 0,8–1,5 кН/м чи біля 14 МПа на відрив. Мінімально допустиме значення адгезії на відшарування становить 0,3–0,5 кН/м.

Як правило, стійкість волокон металізованих до підвищених температур

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трохи вища у порівнянні із неметалізованими. Крім того, стійкість волокон металізованих до коливання температури у більшій мірі залежить від наступних чинників: від товщини самого покриття, від міцності зчеплення волокна та покриття, від структури проміжного шару, від внутрішніх напружень у покритті, а також різниці між коефіцієнтами теплового лінійного розширення волокон та металізованого покриття. Механічна міцність металізованих волокон зазвичай зростає майже адитивно за рахунок міцності нанесених металевих шарів, що також призводить до підвищення жорсткості волокон. Через підвищення жорсткості вуглецеві волокна стають більш крихкими, що суттєво знижує їхню опірність до циклічних навантажень та міцність при згині.

Поверхневі характеристики металізованих вуглецевих волокон здебільшого визначаються властивостями нанесеного металу, це стосується також ряду інших параметрів, зокрема коефіцієнта тертя.

Відомо, що металізовані вуглецеві волокна характеризуються вищою стійкістю до корозії, ніж деталі металеві з аналогічним покриттям. Це можна пояснити тим, що пластмаса в утворенні гальванічних мікропар не бере участі, а при виникненні корозійного пітінгу відбувається не поглиблення отворів, а їхнє розширення. Як правило, корозія металізованих діелектриків відбувається за механізмом, притаманним анодному захисту.

4.2.4 Підготовка вуглецевих волокон до металізації

Якість металевого покриття та ефективність процесу металізації значною мірою залежать від попередньої підготовки поверхні вуглецевих волокон.

Підготовка поверхні вуглецевих волокон передбачає наступні операції:

- знежирення;
- травлення;
- сенсibiliзування;
- активація поверхні;
- акселерація.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб знежирити поверхню вуглецевих волокон в основному використовують розчинники органічні, а також лужні розчини поверхнево-активних речовин (ПАР). Частіше всього застосовують саме такі розчинники, які не приводять до набухання їх чи розтріскування: бензин, ацетон, етанол, фреон, трихлоретилен.

Для знежирення поверхні вуглецевих волокон лужними розчинами ПАР застосовують такі препарати, що призначені для очищення металів, кераміки, текстильних матеріалів, а також мийні засоби, які виробляються для побутового використання.

Використовують для знежирення поверхні волокон розчин, що містить по 20 г/л тринатрійфосфату та карбонату натрію і 2–3 відсотки алкамону ОС-2 чи ОП-7.

Обробка пластмас за допомогою органічних розчинників і поверхнево-активних речовин призводить до змін морфологічної структури їхніх поверхневих шарів через набухання, утворення тріщин, зняття напружень тощо. У результаті покращується здатність поверхні до травлення та суттєво підвищується адгезія.

Травлення є хімічний процес, який відбувається на поверхні діелектрика і приводить до зміни структури її та фізичних, хімічних властивостей. Така властивість, як концентрація полярних груп зазнає збільшень до $1020\text{--}1024\text{м}^2$. Крім того, утворюються мікрозаглиблення і мікропори, розмір яких до декількох мікрометрів і які досить складної будови, а це визначає міцність контакту металу з діелектриком.

Процес травлення підпорядковується загальним закономірностям топохімічних реакцій та масопереносу в системах типу тверде тіло – рідина чи тверде тіло – газ.

Важливе значення під час хімічної металізації має здатність препарату травлення чи компонентів суміші травлення проникати у глиб поверхні. Щоб забезпечити належну якість подальшої обробки, після травлення поверхню обробляють додатковими етапами, які включають промивання, нейтралізацію та знежирення із застосуванням кислотних розчинів, відновників, адгезійних промоторів та інших реагентів.

Перед нанесенням металевого покриття вуглецеві волокнисті матеріали, такі

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як алмази, графіт, пірографіт, активоване вугілля проходять стадії знежирення та травлення із застосуванням кислот, кислотних сумішей, окисників або хромовмісних розчинів; у деяких випадках також використовують анодну обробку. Для активації вуглецевого волокна рекомендована обробка в окислювальному середовищі на протязі 5 хвилин розчином 65 % азотної кислоти. Підтверджено, що такий вид обробки веде до окислення з наступною руйнацією кисневих зв'язків поверхні та приєднання іонів чи груп до зруйнованих зв'язків, які до металів споріднені. Перебування в азотній кислоті початкової міцності волокна не знижує. Встановлено, що така окислювальна обробка має позитивний вплив на властивості вуглецевого волокна. Під час роботи з композиційним матеріалом покращується зчеплення з основою та підвищується міцність композиції на зсув.

Сенсибілізування поверхні вуглецевих волокон. Відновлення металів у процесі хімічної металізації здійснюють таким чином, щоб реакції відбувалися виключно на поверхні, яка підлягає металізації.

Отже, для запуску процесу металізації поверхня, яку покривають, повинна виявляти каталітичну активність щодо реакції відновлення металу. Так як діелектрики, напівпровідники та окремі метали не здатні каталізувати зазначені реакції, їхню поверхню піддають спеціальній обробці – сенсибілізації та активації, щоб надати їй необхідних каталітичних властивостей.

Суть класичного методу активації полягає в тому, що спочатку поверхню сенсибілізують, тобто обробляють розчином солей двовалентного олова, а далі активують соляним розчином каталітично активного металу.

Кількісним показником активності поверхні може бути ефективність активації, яка визначається як обернена величина до індукційного періоду реакції хімічної металізації.

Сенсибілізування є допоміжним етапом у процесі активації поверхні, який полягає в обробці її розчинами сенсибілізаторів, зазвичай відновлювального характеру. Найчастіше у ролі сенсибілізаторів використовують кислі або лужні розчини сполук двовалентного олова. Також можуть застосовуватись сполуки двовалентного заліза, тривалентного титану, двовалентного германію, галогеніди

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кремнію, солі свинцю, а також деякі барвники та інші речовини.

Інколи сенсibilізування є достатнім для надання поверхні активності, якщо сполуки двовалентного олова або подібні відновники можуть відновлювати іони металу, що осаджується до металевого стану.

Щоб правильно вибрати склад розчинів сенсibilізування потрібно володіти механізмом цього процесу. Контактуювання з наступним приєднання двовалентного олова до поверхні проходить не безпосередньо у розчині сенсibilізатора, а під час наступного промивання водою, коли в результаті гідролізу створюються малорозчинні продукти та складні полімерні сполуки двовалентного олова.

Осаджені на поверхню вуглецевих волокон в результаті коагуляції ламінарної, вони створюють шар товщиною до кількох сотень нанометрів, який складається з частинок розміром від 10 до 25 нм сполук олова, що, своєю чергою, утворені часточками до 3 нм.

Промивка поверхні після сенсibilізації розчином соди, аміаком чи гарячою водою достатньо підвищує кількість залишкових продуктів на поверхні, так як за таких умов гідроліз відбувається інтенсивніше та повніше. Для одержання при сенсibilізуванні більш рівномірних шарів, які у своєму складі мають дрібні часточки продуктів гідролізу, рекомендовано промивати вуглецеві волокна водою, котра має рН=9. Кислі та концентровані лужні розчини легко видаляють тонкий шар гідролізованих продуктів, що призводить до втрати ефекту сенсibilізації.

Лише незначна кількість домішків чтирьохвалентного олова в розчині сенсibilізування чудово впливають на активування, так як гідроліз відбувається швидше та сприяє коагуляції гідрозолів двовалентного олова. Це пояснює кращу ефективність давніших розчинів сенсibilізування, у яких відбувається накопичення іонів двохвалентного олова, що веде до появи колоїдних часток β-олов'яної кислоти. Для сприяння коагуляції сполук двохвалентного олова на поверхні до розчину додають іони чтирьохвалентного олова 5–10 ммоль/л та підвищують його іонну силу шляхом введення хлориду натрію у концентрації 1–3 моль/л.

Успішність процесів активування та металізації значною мірою залежить від

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

кількості двохвалентного олова, що залишається на поверхні.

Надлишок двовалентного олова на поверхні іноді спричиняє надмірне осадження металу-каталізатора, що, в свою чергу, призводить до формування пухкого та малотривалого покриття. Надто низький вміст двохвалентного олова спричиняє нерівномірне металеве покриття, що негативно впливає на міцність зчеплення. Існує чимало варіантів сольових розчинів, придатних для сенсibiliзації – кислотних, лужних та спиртових, які містять оптимальну концентрацію двохвалентного олова та поверхнево-активні речовини (наприклад, лаурилсульфат натрію у кількості 0,001–250 г/л), що, ймовірно, сприяють більш рівномірному розподілу продуктів гідролізу солей двохвалентного олова.

Активація поверхні. У деяких випадках до розчинів активації на основі солей паладію додають поверхнево-активні речовини, спирти, аміноспирти, органічні розчинники, амінокислоти чи глюкозу. Спиртові розчини хлориду паладію, доведені до кипіння, суттєво підвищують адгезію металевого покриття до діелектричної поверхні. Науковці експериментально підтвердили, що найефективнішими із досліджених розчинів активування є спиртові і кислі розчини.

Давно уже відомі розчини активування з вмістом сполук срібла, проте застосування їх обмежене. Вони також мало застосовуються для активації перед хімічним кобальтуванням чи нікелюванням, або хімічним мідненням розведеними розчинами.

Перед хімічним мідненням досить часто використовують концентровані розчини наступного складу: азотнокисле срібло (2-90 г/л), аміак (25% від 10 до 100 мл/л), аміак (25% від 10 до 100 мл/л). Найчастіше: азотнокисле срібло – 2 г/л та аміак (25 % від 15 до 20 мл/л). Можливі у застосуванні і розчини азотнокисле срібло у воді (10 г/л) або в 50 % етанолі (10–30 г/л).

Порівняльний аналіз активуючих розчинів на основі солей срібла та паладію показав, що початкова швидкість осадження міді в розчинах із солями срібла майже в чотири рази нижча, ніж у паладієвмісних, однак через 2–3 хвилини ці показники вирівнюються.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після сенсibilізування рекомендовано активувати поверхню розчином азотнокисле срібло (1 г/л), а далі іще обробити розчином хлористого паладію (0,1 г/л), який у розбавлений у соляній кислоті (3,5 мл/л).

Для активування також рекомендують застосовувати розчини солей золота (деколи разом з кислим розчином хлористого паладію) та солей наступних металів: заліза, міді, кобальту та нікеля.

Акселерацією вважають додаткову обробку поверхні, яка потрібна тому, що часточки активатора, які осталися на поверхні, не характеризуються каталітичною активністю. Дану операцію проводять різними способами в залежності від того, який розчин використаний для прямого активування. Після обробки іонними розчинами акселератор відновлює поглинені іони до відповідних металевих форм.

Зазвичай, у якості відновників для акселерації використовують ті ж речовини, що і для хімічної металізації, як приклад може бути такий: 5–15 % розчин гіпофосфіту натрію.

Найкращим складом сенсibilізування для хімічного міднення науковці винайшли такий: 40–50г/л $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 40–50 мл/л соляної концентрованої кислоти. У випадку хімічного нікелювання чи кобальтування використовуються розчини вищої концентрації та промивка поверхні гарячою водою. Термін сенсibilізування не має особливого значення, частіше всього становить 2 хвилини.

Окрім солей двохвалентного олова, широке використання набули солі титану: 0,04–3 % розчин сульфату титану у сірчаній кислоті чи розчин 50 г/л хлориду титану у 50 мл соляної кислоти, а також суміші солей трьохвалентного титану та двохвалентного олова.

Цікавим методом сенсibilізації є нанесення на поверхню барвників, які після адсорбції відновлюються гідросульфідом натрію до лейко-форми, здатної, у свою чергу, відновлювати іони благородних металів із активаційного розчину. Також пропонується застосування низки інших відновників таких, як гіпофосфіт натрію, гідроксиламін, резорцин, борогідрид натрію та фосфор, які в багатьох випадках здатні самостійно ініціювати не лише осадження срібла чи золота, але й міді та нікелю, без необхідності додаткової активації.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Науковцями запропоновані способи підтримання у розчинах необхідної концентрації двохвалентного олова, який при зберіганні киснем повітря окислюється до чотирьохвалентного олова, методом відновлення такими металами: нікелем, оловом та залізом. Також представлено обробку деталей на етапі сенсibiliзування ультразвуком, що, безумовно, підвищує адгезію покриття.

Активування полягає в обробці сенсibiliзованої поверхні розчинами сполук каталітично активних металів: паладій, платина, срібло, золото, реній, рутеній, осмій і телур. При цьому розчини можливі кислі або лужні, а метали, які застосовують у якості каталізаторів, можуть перебувати у вигляді простого чи складного іона.

Найширше застосування отримало активування розчинами паладієвих солей, оскільки вони підходять для всіх етапів хімічної металізації. Завдяки низьким концентраціям цих солей, їх витрата є незначною, що робить використання паладію економічно доцільнішим порівняно, скажімо, з використанням срібла.

Частіше всього використовують кислі розчини хлориду паладію, що містять 0,01–5 г/л хлориду паладію і 0,25–20 мл/л соляної кислоти, а найчастіше 0,2–0,5 г/л хлориду паладію та 1–3 мл/л соляної кислоти. Оптимальна кислотність відповідає кислим розчинам хлориду паладію з $pH=1,5-2,5$. Такими розчинами виконують обробку при кімнатній температурі або при 60–80 °C на протязі 2–5 хвилин.

Також рекомендовано застосовувати розчини сульфату заліза двохвалентного – (1–6 %), гідразину – (0,1–5 %), борогідриду натрію – (0,1–0,2 %), діетиламіноборану – (0,05–0,2 %). Акселерація не лише підвищує ефективність процесу активації, а також значно збільшує швидкість хімічного осадження нікелю. До того ж, ця стадія запобігає розкладу розчинів хімічної металізації, перешкоджаючи потраплянню в них іонів активатора, які залишились на активованій поверхні пластмас.

Достатній вплив на рівномірність наступного покриття належить промиванню поверхні водою і після активування, і також після акселерації. Кращі результати досягнуто, промиваючи протягом 2 хвилин. Допускається перед акселерацією 50 % розчином соляної кислоти взагалі не промивати водою, при

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

цьому ефективність активації не буде зростати. Щоб уникнути використання дорогоцінних металів, було запропоновано застосовувати сильні відновники для запуску автокаталітичної реакції хімічного осадження металів. З цією метою використовують елементарний фосфор чи його сполуки з низьким ступенем окиснення. Також запропоновано ініціювати процес хімічного міднення за допомогою борогідриду натрію, інших борогідридних сполук, гіпофосфіту натрію тощо.

4.2.5 Одержання металевих покриттів шляхом хімічного відновлення в розчинах

Метод хімічної металізації базується на реакції між іонами металу та розчиненим відновником, у ході якої на каталізаторно активній поверхні утворюється металеве покриття. Чим вищий стандартний електродний потенціал металу, тим ширший вибір відновників, які можна застосовувати.

Також, важливою умовою є автокаталітична природа реакції відновлення, мається на увазі здатність осадженого металу виступати каталізатором для подальшого перебігу цього процесу. Це сприяє вибірковому осадженню металу на заданій поверхні та формуванню контактного покриття необхідної товщини.

Ступінь автокаталітичної активності залежить як від фізико-хімічних властивостей металу, так і від особливостей застосованого відновника.

Швидкість каталітичного процесу не піддається такому легкому регулюванню, як, наприклад, сила струму під час електрохімічного осадження металу. Якщо автокаталіз відсутній, реакція відновлення, зазвичай, відбувається в усьому об'ємі розчину, що призводить до утворення металу у вигляді порошку.

4.2.5.1 Розчини металізації

На практиці розчини для хімічного осадження металів, окрім солі самого металу, часто містять і додаткові компоненти, зокрема, ліганди, які утворюють з

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

іонами металу розчинні комплекси. Це особливо важливо для лужних середовищ. До того ж, застосування стабільних комплексів досить часто сприяє підсиленню автокаталітичного ефекту.

Розчини осадження металів поділяють на:

- речовини, які здатні регулювати та підтримувати певне значення рН розчину (кислоти, луги та буферні добавки);
- стабілізатори.

Окрім цього, до складу розчинів можуть входити добавки, які призначені для підвищення швидкості процесу, коригування властивостей утвореного покриття та з інших технологічних міркувань.

4.2.5.2 Основні технологічно важливі параметри розчинів хімічної металізації

1) Швидкість осадження покриття є одним із основних параметрів, вимірюється у мкм/год або г/м·год. Швидкість процесу металізації зазвичай знижується з плином часу, тому в літературних джерелах наведені значення є усередненими за певний часовий інтервал.

Основна більшість існуючих розчинів для металізації, за умови стабільної роботи, забезпечують відносно низьку швидкість осадження металу, це близько 2–5 мкм на годину.

Винятком вважають розчини для нікелювання, де швидкість осадження може досягати 20–25 мкм/год, що вже наближається до показників електрохімічного осадження за умов середньої щільності струму. Багато досліджень зосереджено на максимально ефективному використанні потенціалу вибіркового прискорення каталітичного процесу шляхом підбору лігандів, які водночас стабілізують розчин та підвищують швидкість металізації.

2) Термін існування розчину – це максимальна тривалість застосування його. Може характеризуватись початком в об'ємі розчину відновленням металу, мається на увазі стійкістю розчину. У багатьох сучасних розчинах для металізації

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відновлення в об'ємі не відбувається, тому доцільніше оцінювати розчин не за тривалістю його застосування, а за максимальною масою покриття, яку можна отримати з одиниці об'єму розчину (в г/л або кмк/год), чи за показником, що відображає, скільки разів можна осадити метал у вигляді покриття з кількості, наявної в початковому розчині (частіше всього 10–20 разів).

3) Ефективність використання відновника. Цей показник характеризується коефіцієнтом використання, тобто співвідношенням між теоретичною кількістю відновника, необхідною для відновлення одного моля металу згідно зі стехіометрією реакції, та фактичною загальною кількістю відновника, що вступив у реакцію. Реальне значення цього коефіцієнта є нижчим за 100% через побічні реакції, що відбуваються в об'ємі розчину або на поверхні покриття. Як правило, при більшому ступені завантаження цей коефіцієнт має вищі значення.

4) Чутливість розчину до активації. Цей показник визначається як мінімальна кількість активатора на поверхні діелектрика (у мг/м²), необхідна для впевненого запуску процесу осадження покриття. Певною мірою він корелює зі стабільністю розчину тому, чим менш стабільний розчин, тим легше реакція ініціюється навіть на слабо активованій поверхні.

На поверхні деталі активованій паладієм для початку осадження міді має бути 0,3–5 мг паладію на 1 м², а для подальшого осадження буде достатньо 0,1–1 мг паладію на 1 м².

В даний час переважає напрямок застосування розчинів металізації більш триваліший час, змінюючи їхній склад. Саме тому розчини мають мати малу чутливість до забруднень та значно вищу стабільність.

4.2.5.3 Стабільність розчинів металізації

Розчини хімічної металізації вважають нестійкими термодинамічними системами, оскільки містять іони металу та відновник. Вони є схильні до повільного розкладання, тобто відбувається процес відновлення металу у всьому розчині. Первісно некаталітична, реакція відновлення в об'ємі переходить у

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каталітичну після утворення деякої кількості продукту реакції (металевих часточок) та надалі прискорюється зі збільшенням площі металевої поверхні. Це спричиняє неконтрольоване споживання реагентів, погіршення якості покриття та вихід ванни з робочого стану.

Стабільність розчинів для металізації залежить від ймовірності та швидкості утворення металевих зародків у розчині, а також від подальшого розвитку цих зародків, їхнього зростання чи розчинення.

Щоб збільшити стабільність розчинів потрібно знизити дію чи усунути фактори, які зменшують стабільність. Це можливо виконати за допомогою таких заходів:

- зниження інтенсивності осадження металу;
- застосування лігандів;
- помірне завантаження;
- фільтрація розчину;
- додавання стабілізаторів.

При зменшенні інтенсивності процесу осадження металу без додаткових заходів у розчинах низької інтенсивності за тривалого їхнього використання може початися відновлення металу у об'ємі. Також, безпосередньо швидкість металізації можливо буде недостатньою. Деякі інші заходи можливої стабілізації впливають більш вибірково, не приводячи до зниження швидкості самого каталітичного процесу.

Використання лігандів для збільшення стабільності розчинів надають іонам металу утворювати більш стійкі комплекси.

Помірне завантаження полягає у рекомендованій ступені завантаження, що становить не вище 100–250 см²/л.

Фільтрування розчину передбачає відокремлення домішок та малих часточок металу, котрі появляються при об'ємному розкладі у розчині. При тривалому застосуванні розчину металізації необхідною операцією обов'язково є періодичне чи безперервне фільтрування.

Введення спеціальних стабілізаторів в значній мірі підвищують стабільність

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розчину. Це речовини з відносно малою концентрацією, близько 1–100 мг/л.

За способом дії стабілізуючі добавки поділяють на дві групи:

– каталітичні отрути, це такі: сполуки двохвалентної сірки, двохвалентного селену, ціаніди, азотні та сірковмісні сполуки, іони деяких металів;

- окислювачі.

Деякі представники першої групи уповільнюють низку каталітичних реакцій, що пояснюється їхньою здатністю адсорбуватися на зародках і пригнічувати їхнє зростання. Окиснювальні стабілізатори спричиняють пасивацію поверхні дрібних металевих часточок і можуть приводити до їхнього розчинення.

4.2.6 Хімічне міднення

4.2.6.1 Склад розчинів

У практичному застосуванні єдиним відновником у розчинах хімічного міднення використовують формальдегід. Відновлення міді формальдегідом є процес актокаталітичний. Автокаталітичний ефект під час відновлення міді за допомогою гіпофосфіту, гідразину та гідросульфїту виявляється значно слабше. Лиш борогідрид та похідні його демонструють схожу активність із формальдегідом у цьому контексті. Застосування борогідриду є перспективним, оскільки процес міднення можливий не лише в лужних, а й у нейтральних середовищах. [18].

Узагальнений склад розчинів для хімічного міднення з використанням формальдегіду має такий вигляд:

- а) сіль міді двохвалентної (ммоль/л) – 2-600 (частіше 20-150);
- б) вміст лігандів у 1-4 рази більший ніж двохвалентної міді;
- в) величина формальдегіду, ммоль/л –(30-3400);
- г) відношення формальдегіду до двохвалентної міді має значення від 1 до 50 (частіше 3-12);
- д) наявність лугу – до рН = 11-14;
- є) стабілізатор та інші необхідні добавки.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найчастіше серед солей міді застосовують мідний сульфат, хоча також можливе використання нітриту, хлориду, карбонату та інших сполук. У ролі донорів лігандів зазвичай використовують тартрати, зокрема тартрат калію-натрію, відомий як сегнетова сіль або етилендіамінтетраацетат, також відомий як трилон Б.

Ліганди зв'язують двохвалентну мідь в комплекси і в такому вигляді утримують в лужному розчині їх.

Зазвичай в розчин хімічного міднення формальдегід вводять у вигляді так званого формаліну, водного розчину, що містить 35–40 % формальдегіду та 10–15 % метанолу, який потрібно додавати з ціллю запобігання полімеризації формальдегіду. У розчинах для міднення можливе застосування параформу, триоксану та поліоксиметиленгліколів, які в лужному середовищі розкладаються з утворенням формальдегіду. Різні типи розчинів для хімічного міднення з відповідними концентраціями (у г/л) наведено в таблиці 4.2.

Розчин №1, він є доволі стабільним, запропонований науковцями на діелектриках створення електропровідного підшару.

Розчин №2, названий розчином Майерса-Вейна (на честь учених), характеризується присутністю солі нікелю, яка покращує зчеплення покриття з гладкою поверхнею основи деталі, достатньо широко застосовується для металізації.

Розчин №3, був запропонований науковцем Собестром. Даний розчин відрізняється високими концентраціями компонентів, а також високою швидкістю міднення та незначною стабільністю розчину. Тому, зазвичай потрібні добавки стабілізаторів.

Розчин №4 вважається найпростішим та стабільнішим, забезпечує достатньо високу швидкість міднення.

Таблиця 4.2 – Типи робочих розчинів міднення

Компоненти і режим	№1	№2	№3	№4
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	5	7	29	12
Тартрат К-На	25	22,5	142	-

Трилон Б	-	-	12	25
Триетаноламін	-	-	5	-
Na ₂ CO ₃	-	2	9	-
NaOH	7	4,5	42	8-10
Формалін (40%), мл/л	10	26	167	25
NiCl ₂ ·6H ₂ O	-	2	-	-
pH	12	12,1	11,5	12,5
Швидкість міднення, мкм/год	0,9	0,4	8	1-2

Міднене вуглецеве волокно входить до складу композиційного матеріалу Флубон-М. Технологія одержання антифрикційного композиційного матеріалу Флубон-М полягає в наступних операціях. Вуглецеві волокна, пряжу чи тканину після кінцевої термообробки в режимі температур 800–1600 °С піддають подрібненню до насипної густини 0,15–0,5 г/см³. Зважених 5г подрібненого волокнистого вуглецевого матеріалу промивають у етиловому спирті протягом 10 хвилин, далі фільтрують і концентрованим тринатрійфосфатом (концентрація 30 г/л) обробляють терміном 10 хвилин, в кінці при температурі 80 °С промивають гарячою водою.

Таке знежирене волокно опускають в електроліт. Його готують, змішуючи до повного розчинення гідроксиду міді та попередньо заготовлений розчин гліцерину, а також гідроксид натрію та сульфат міді (концентрація 100 г/л). Після розчинення вуглецевого матеріалу у електроліт додають іще розчин формаліну (концентрація 150 г/л).

Вуглецевий волокнистий матеріал з металізованим покриттям у кількості 23–78 % від маси вихідного матеріалу одержують шляхом варіювання співвідношення компонентів електроліту та формаліну, при цьому він у своєму складі містить 0,2–2,1 мас. % оксиду одновалентної міді, 0,2–1,6 мас. % оксиду міді двохвалентної, а решту становить мідь. [19].

Антифрикційну композицію готують шляхом змішування 20 мас.%

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вуглецевого волокнистого матеріалу з металізованим покриттям з 80 мас.% політетрафторетилену в спеціальному лопатовому змішувачі МРП-1М при температурі нижче 10 °С на протязі 10 хвилин.

4.2.7 Змішування порошку фторопласт-4 з наповнювачами

Процес приготування фторопластових композицій типу Флубон включає дві основні стадії:

- а) змішування компонентів у змішувачі-дозаторі з частотою обертання 1200 об/хв, під час якого одночасно відбувається формування композиції;
- б) подальше подрібнення отриманої композиції в млинку МРП-1М.

4.2.7.1 Змішування композиції

Змішування композиції виконують у змішувачі-дозувальнику. Цей пристрій періодичної дії, має він циліндричну форму, а у нижній частині в середині на валу кріпиться ніж, який виконує обертовий рух. При допомозі ножа, який обертається, і відбувається змішування порошку фторопласту.

Перед початком роботи потрібно почистити пиловсмоктувачем змішувач та протерти бавовняною тканиною, змоченою етиловим спиртом. Далі засипаємо фторопласт-4. Максимальне завантаження змішувача не повинно перевищувати 30 кг композиції. Рекомендована оптимальна температура змішування – 20 °С, термін змішування компонентів – 10–15 хвилин. Щоб запобігти перегріву композиції, змішування здійснюють циклічно: 2–3 хвилини роботи змішувача чергують з 10–15 хвилинами вимкнення. За потреби використовується змішувач з охолоджувальною оболонкою (сорочкою). За допомогою спеціального вимикача у змішувачі-дозувальнику передбачено автоматичне блокування кришки завантажувального пристрою. Вимірювання температури здійснюється за допомогою терморпари (хромель-копель), а її значення записуються на стенді контрольно-вимірювальних приладів.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.7.2 Подрібнення композиції

Перед подрібненням необхідно зважити композицію на технічних вагах та засипати її в камеру помолу. Далі зачинити та герметизувати камеру. Камеру помолу розміщуємо на колонці приводу. Для того щоб квадрат валика з'єднався з муфтою приводу, а штифти нижнього циліндра потрапили в прорізи колонки приводу, камеру розмолу обертають до зупинки на штифтах у горизонтальних прорізах. Після цього встановлюють час помолу, який становить $\tau = 4$ хвилини і вмикають млин.

Змішування проводиться тричі: поетапно чергуючи камери, при цьому загальний час подрібнення складає 10–12 хвилин. Для запобігання перегріву приладу після 12 хвилин роботи млина роблять зупинки для охолодження тривалістю 10 хвилин. Після виконаного подрібнення пристрій механічним способом очищають від залишків композиції.

4.2.8 Підготовка сировини

4.2.8.1 Сушка композиції

Подріблену композицію сушать за температури 150 ± 5 °С протягом 4–6 годин шаром до 20 мм. У випадку незадовільних сипучих характеристик композиції сушіння виконують до та після подрібнення. Час між сушкою та пресуванням не має перевищувати 1,5 години. Сушіння композиційного матеріалу виконують в спеціальній сушильній установці ДПГЮ 023.000. Дана установка оснащена такими пристроями: вимкненням нагрівачів у випадках:

- а) відкриття дверей сушильної установки;
- б) відсутності витяжної вентиляції;
- в) перевищення температури в сушильній камері значення 170–180 °С.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура в середині сушильної камери фіксується на діаграмну стрічку. Для сушки композиції можливе також використання печі А-114М.

4.2.8.2 Рихлення композиції

Фторопластовий композиційний матеріал Флубон-М, що перебував на складі сировини більше 10 годин, перед виконанням пресування проходить етап розпушування. Розпушування виконують у млині МРП-1М чи змішувачі-дозувальнику. Внутрішню нижню ємність очищають від пилу за допомогою бавовняної тканини. Фторопластова композиція за допомогою лопатки завантажується в ємність млина чи змішувача, потім потрапляє на обертовий пристрій і зсипається в приймальну ємність.

4.2.8.3 Зважування композиції

Пресування фторопластової композиції Флубон-М виконується у завчасно виготовлених сталевих прес-формах на гідравлічному пресі без підігріву. З метою отримання необхідних розмірів заготовок при пресуванні використовують вагове дозування. Потрібне зважування виконують на настільних циферблатних вагах ВНЦ-2, які забезпечують точність зважування $\pm 0,005$ кг. В залежності від величини наважки, зважування проводиться у спеціальних ємностях.

Для уникнення поглинання композицією вологи та забруднень ємність з композиційним матеріалом закривають щільно кришкою.

4.2.9 Пресування заготовок підшипника ковзання

Устаткування та оснащення, яке застосовується для пресування заготовок підшипника ковзання.

Зазвичай для одержання заготовок підшипника ковзання з композиційного полімерного матеріалу Флубон-М застосовують гідравлічні преси, в окремих

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадках можливе застосування пневматичних. В залежності від розміру пресованої заготовки підшипника ковзання преси гідравлічні можуть працювати із зусилля пресування 0,63–6,3 МН.

До основних параметрів пресів належать: створюване зусилля, максимальний робочий зазор, хід плунжера та виштовхувача, а також можливість регулювання швидкості руху й тиску під час пресування.

Зусилля пресування (F) можна визначити з допомогою формули:

$$(4.1) \quad F = P \times S,$$

де P – тиск пресування, МПа; S – площа пресування, см².

Тиск манометричний робочої рідини (P_M) в гідроциліндрі пресу підраховується за такою формулою:

$$P_M = \frac{F \cdot \eta}{S_{\text{П}}}, \quad (4.2)$$

де $S_{\text{П}}$ – площа плунжера, см²; η – коефіцієнт корисної дії пресу.

Одна з основних умов одержання якісної заготовки підшипника ковзання без тріщин є виконання плавного ходу пресуючим плунжером та виштовхувачем, без будь-яких поштовхів чи ривків. Тому перед початком встановлення пресувальної форми в обов'язковому порядку проводять налаштування та регулювання пресу у ручному режимі. Стабільність якості пресованих заготовок підшипника ковзання забезпечується впровадженням автоматизованої системи керування процесом пресування. Ця система реалізує поступове підвищення тиску до максимального значення, визначеного технологічним регламентом, витримку заготовки підшипника ковзання під цим тиском та подальше зниження тиску та виштовхування сформованої заготовки підшипника ковзання за допомогою виштовхувача. Засипання композиційного матеріалу Флубон-М у пресувальну форму здійснюється ручним способом.

Найпростіша пресувальна форма налічує окрім матриці ще верхній та

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

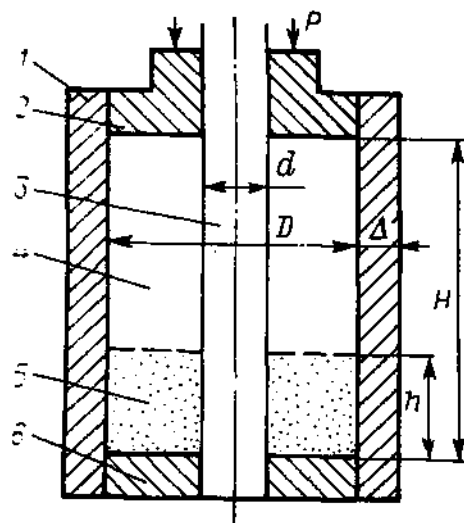
нижній пуансон (рисунок 4.1). Пресувальна форма для виготовлення заготовки підшипника ковзання у вигляді втулки забезпечується центральним стрижнем. Виготовляються деталі пресувальних форм із конструкційних та інструментальних сталей таких, як 45, 40Х, У8 з наступною термічною обробкою та нормалізацією до твердості – HRC = 45–50.

Чистота поверхні та точність виготовлення деталей пресувальних форм є ключовими факторами, що впливають на ефективність процесу пресування. Високий рівень полірування поверхонь до шорсткості 0,16–0,32 мкм дозволяє зменшити втрати тиску, спричинені тертям під час пресування. Точність виготовлення деталей пресувальної форми забезпечує оптимальні умови для видалення повітря з композиційного порошку під час формування заготовки підшипника ковзання, що сприяє зменшенню утворення облою та покращує якість кінцевого виробу.

Висоту матриці пресувальної форми визначають за допомогою формули:

$$H = h_1 + h_2 + k \cdot H_3 \quad (4.3)$$

де h_1 – висота нижнього нерухомого пуансона (20–25 мм); h_2 – висота верхнього рухомого пуансона (30–40 мм); k – коефіцієнт пресування порошку; H_3 – висота одержаної заготовки підшипника ковзання, мм.



1 – матриця; 2, 6 – верхній і нижній пуансони; 3 – стрижень; 4 – ємність для засипки композиції; 5 – відпресована заготовка підшипника ковзання

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Рисунок 4.1 – Схема компресійного пресування

Внутрішній діаметр пресувальної форми (D_n) та діаметр стрижня D_c визначають з врахуванням коефіцієнта зсідання пресувального композиту:

$$(4.4) \quad D_n = D_{зоб.з} (1 + k_y)$$

$$(4.5) \quad D_n = D_{вн.з} (1 - k_y)$$

Товщину стінки (Δ) пресувальної форми можна розрахувати за формулою:

$$(4.6) \quad D = D_T \times \frac{P_{ПР}}{2\sigma}$$

де D_T – діаметр пресованої заготовки підшипника ковзання, см; $P_{ПР}$ – тиск пресування, максимальна величина для певної марки фторопласту, МПа; σ – допустима міцність матеріалу пресувальної форми, МПа.

За конструкціями пресувальні форми поділяють на стаціонарні і з'ємні в залежності від асортименту та серійності. З'ємні пресувальні форми застосовуються виключно для виготовлення заготовок підшипника ковзання невеликих розмірів та невеликих партій. При виготовленні ж заготовок підшипника ковзання великого розміру використовуються стаціонарні пресувальні форми із системою виштовхування. За великої серійності дрібних заготовок підшипника ковзання можливе застосування багатогніздових стаціонарних пресувальних форм. Рівнощільні заготовки підшипника ковзання висотою більше 100 мм одержують у пресувальних формах з так званою плаваючою матрицею, яка дає можливість виконати двохстороннє пресування на звичних одноходових пресах.

Технологія і режими пресування.

Процес виготовлення підшипника ковзання складається з таких етапів: підготовка обладнання та пресувальної форми, заповнення пресувальної форми композицією, повільне прикладення тиску, витримка під максимальним тиском, зниження тиску та вилучення заготовки підшипника ковзання із пресувальної

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

форми.

Вкладають на нижню плиту преса та прикріплюють пресувальну форму. Нижній пуансон пресувальної форми розміщують на виштовхувач пресу. Верхній пуансон кріпиться до верхньої плити пресу. Для уникнення перекосів потрібно уважно центрувати матрицю та стрижень пресувальної форми.

Перед засипкою композиційного матеріалу деталі пресувальної форми, які безпосередньо перебувають в контакті з композицією, протирають розчинником таким, як бензин чи ацетон. Після цього необхідно начисто протерти бавовняною тканиною, змоченою у спирті.

Для одержання заготовок підшипника ковзання необхідних розмірів наважку композиційного порошку (G) визначають з допомогою формули:

$$(4.7) \quad G = V \times \rho,$$

де V – об'єм заготовки підшипника ковзання, см^3 ; ρ – щільність термообробленої заготовки підшипника ковзання, г/см^3 .

Вагу наважки композиційного матеріалу реплізують на технічних вагах. Для зручності засипання композиційного порошку у пресувальну форму використовують спеціальні воронки. Вважається досить відповідальним моментом при засипанні композиції в пресувальну форму розрівнювання композиційного порошку по площі пресування. При пресуванні деталей у вигляді пластин або дисків, порошок композиції в пресувальну форму лопаткою засипають та лінійкою розрівнюють. Забезпечити рівномірне заповнення пресувальної форми зазвичай легше при застосуванні вільносипучих фторполімерів. Сам процес пресування заготовки підшипника ковзання налічує три стадії: прикладення тиску; видержування при максимальному тиску та зняття тиску.

Прикладення тиску приводить до ущільнення порошку композиції за рахунок видалення повітря з нього. Щоб забезпечити більш повне видалення повітря потрібно плавно прикладати тиск; при цьому швидкість пресування не має перевищувати на початковій стадії процесу 40 мм/хв., а в кінці – 3-5 мм/хв. При пресуванні великогабаритних заготовок підшипника ковзання швидкість підвищення тиску має бути меншою, ніж при виготовленні дрібних деталей: від 25

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм/хв на початковому етапі до 2 мм/хв наприкінці процесу.

При досягненні максимального манометричного тиску заготовку підшипника ковзання витримують під цим тиском, що сприяє рівномірному його розподілу по всьому об'єму заготовки. У процесі витримки заготовки підшипника ковзання під максимальним тиском частинки матеріалу деформуються, заповнюючи порожнечі між собою. Тиск максимальний під час пресування істотно впливає на характеристики майбутньої заготовки підшипника ковзання, а насамперед на його фізико-механічні властивості. Також важливо враховувати, що максимальний тиск пресування повинен бути оптимальним та не перевищувати максимально допустимого значення для кожного типу фторопластового матеріалу.

Надмірний тиск призведе до перенапруг на межах частинок композиційного порошку, що може спричинити утворення дрібних мікротріщин у заготовці підшипника ковзання. Під час пресування було встановлено, що термін витримки заготовки підшипника ковзання при максимальному тиску приблизно 1,5 хвилини на 1 кг маси заготовки, а для великогабаритних заготовок підшипника ковзання цей час можна скоротити до 0,7 хвилини.

Накопичена напруга стиснення у процесі витримки заготовки підшипника ковзання під тиском може привести до її розтріскування. Саме тому після витримки заготовки підшипника ковзання тиск пресування потрібно знімати плавно: на протязі 20–30 секунд – для мілких заготовок та від 6 до 8 хвилин – для великогабаритних заготовок підшипника ковзання. До речі, після остаточного зняття тиску заготовка підшипника ковзання підвищується по висоті на 2–3 відсотки через релаксацію у ній пружних напруг стиснення.

Кінцевою операцією є вилучення заготовки підшипника ковзання з пресувальної форми. Операція виштовхування здійснюється одним безперервним та плавним рухом виштовхувача, без зупинок та ривків під час його переміщення. В процесі пресування заготовка підшипника ковзання зазнає радіальне напруження, яке не знімається при знятті тиску пресування. Дані радіальні напруги можуть спричинити незначне збільшення діаметра заготовки підшипника ковзання — до 1–2 відсотків, тому будь-яке призупинення процесу виштовхування

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

заготовки підшипника ковзання може викликати передчасне розширення матеріалу, що, своєю чергою, призводить до утворення кільцевих тріщин, які проявляються під час термічної обробки заготовки підшипника ковзання. З ціллю уникнення утворення тріщин заготовки підшипника ковзання з центральним отвором потрібно її вилучати разом з стрижнем. Рекомендації щодо швидкості вилучення заготовки підшипника ковзання такі: від 15 до 25 мм/с. У вилученої із пресувальної форми заготовки підшипника ковзання ще достатньо тривалий термін часу спостерігаються залишкові напруги стиску. Якщо заготовку підшипника ковзання помістити у піч для термічної обробки безпосередньо після пресування, то ці залишкові напруги стиску можуть привести до розтріскування заготовки. Для уникнення цього небажаного результату відпресовану заготовку підшипника ковзання потрібно видержати у спокійному стані при температурі навколишнього середовища на протязі 5–20 годин.

Компресійне пресування достатньо поширене для виготовлення заготовок підшипника ковзання простої форми а також деталей інших конфігурацій та призначення, які згодом підлягають механічній обробці для отримання готових деталей.

4.2.10 Термообробка заготовок підшипника ковзання

Готові заготовки підшипника ковзання після візуального контролю піддають термічній обробці в електричній печі, яка оснащена обертовими перфорованими подами та має примусову циркуляцію повітря у внутрішньому обсязі печі. Заготовки підшипника ковзання викладають рядами на сітчастих піддонах. З метою покращення циркуляції повітря полиці обертаються. Температура в печі реєструється й фіксується автоматичними електронними самописцями-потенціометрами типу КСП-4 з діапазоном вимірювання від 0 до 600 °С. Заміри контрольні температури в об'ємі печі виконуються в 6–10 точках. Потенціометри розташовані на панелях щитової. Вони функціонують у комплекті з 6–10 термопарами типу хромель-копель. Амперметр типу Є-30 з максимальним

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазоном 70 А призначений для вимірювання сили струму, що подається на нагрівачі електропечі моделі А-114. Заготовки підшипника ковзання та піддони електропечі перед закладкою протираються бавовняною тканиною для очистки забруднень.

Можливе сушіння заготовок підшипника ковзання за температури 150 °С в сушильній шафі терміном 6–15 годин із наступним перенесенням розігрітих їх в твердій ємності у електропіч для термообробки. Рекомендовано, щоб термін часу між вивантаженням з сушильної шафи та загрузкою в електропіч для термічної обробки не перевищував 20 хвилин.

Термічна обробка заготовки підшипника ковзання проводиться згідно режиму:

1) сушіння заготовки підшипника ковзання за температури 150 ± 3 °С на протязі однієї години на 3–5 мм товщини заготовки;

2) поступовий нагрів від температури 150 ± 3 °С до температури 325 ± 3 °С з регламентованою швидкістю – не вище 0,3 градусів за хвилину, протягом восьми годин;

3) термостатування за температури 325 ± 3 °С одну годину на 4-5 мм товщини заготовки;

4) поступове підвищення температури від 325 ± 3 °С до температури 365 ± 3 °С з швидкістю не вище 0,5 градусів за хвилину протягом однієї години;

5) термостатування при температурі 365 ± 3 °С на протязі однієї години на 4–5 мм товщини заготовки;

6) охолодження від температури 365 ± 3 °С до температури 312 ± 3 °С з швидкістю не вище 0,6 градусів на хвилину;

7) термостатування при температурі 312 ± 3 °С на протязі однієї години на 4-5 мм товщини заготовки;

8) зниження температури заготовки від 312 ± 3 °С до температури 150 ± 3 °С зі швидкістю не вище 0,6 градусів на хвилину;

9) підтримування температури 150 ± 3 °С на протязі однієї години на 4–5 мм товщини заготовки.

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надалі охолодження необхідно продовжувати у електропечі на піддонах при вимкненому нагрівачі від температури 150 °С до кімнатної температури не менше як три години.

В загальному тривалість термічної обробки складає 20–22 години. Спеціальний блок управління забезпечує автоматизоване регулювання температурно-часового режиму процесу термообробки.

4.2.11 Контроль виготовлених заготовок підшипників ковзання

Якість заготовок підшипників ковзання з композиційного матеріалу Флубону-М перевіряють партіями. Партією вважають кількість заготовок, що виготовлені з полімерного композиту однієї марки та які супроводжуються одним документом. Усі заготовки підшипників ковзання з фторопластового композиційного матеріалу Флубон-М в обов'язковому порядку проходять перевірку на відповідність геометричним розмірам і зовнішньому вигляду.

5 ОЦІНКА ЗНОСОТІЙКОСТІ ТА МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКУВАННІ ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ

5.1 Лабораторні дослідження пари тертя з визначенням параметрів моделі зношення

5.1.1 Методика досліджень зносостійкості антифрикційних матеріалів

Як основу для лабораторних досліджень було обрано спосіб випробування на зношування за схемою «перехресних циліндрів»; як зразки можуть випробовуватись втулки підшипників [21]. Далі наведено формулювання задачі та залежності для розрахунку параметрів моделі зношування.

Досліджується контактна взаємодія двох циліндрів, проєкції осей яких утворюють між собою кут 90°. Дане контактування циліндрів відбувається за

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

таких умов (рисунок 5.1) [20,21]:

- 1) в загальному випадку радіуси циліндрів R_1 і R_2 різні: $R_1 \neq R_2$;
- 2) циліндри контактують один з одним постійним навантаженням Q ;
- 3) перший циліндр є обертовий і не зношується, другий циліндр – не обертовий, зношується;
- 4) у процесі випробування виникає еліптична зона контакту з розмірами a та b , які фіксуються з певною періодичністю; за підсумками випробування отримуються експериментальні залежності $a(s)$ та $b(s)$, де s — пройдений шлях тертя;
- 5) знос $u_w(s)$ другого циліндра проходить згідно моделі сталого зносу.

За таких умов, коли $R_1 = R_2$ спостережувані результати узгоджуються з моделлю контакту куль.

Задача формулюється в такий спосіб: знаючи функції $a(s)$ та $b(s)$, розрахувати параметри k_w та m процесу сталого зношення.

Рішення будемо виконувати за наступних припущень:

- перший і другий контактуючі циліндри приймаємо такими, що не деформуються, тобто твердими; з цього припущення виходить, що на протязі всього процесу зношення тиски рівномірно розділені по площадці коливання; чим більший знос у порівнянні з пружними контактними переміщеннями, тим точніше виконується це припущення;
- допускаємо, що тиск буде вирішальним елементом, який визначає знос; усі інші фактори не будемо враховувати, ні розміри, ні температуру, ні швидкість ковзання;
- припускаємо, що контактна площадка незначних розмірів, тому її будемо вважати плоскою.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

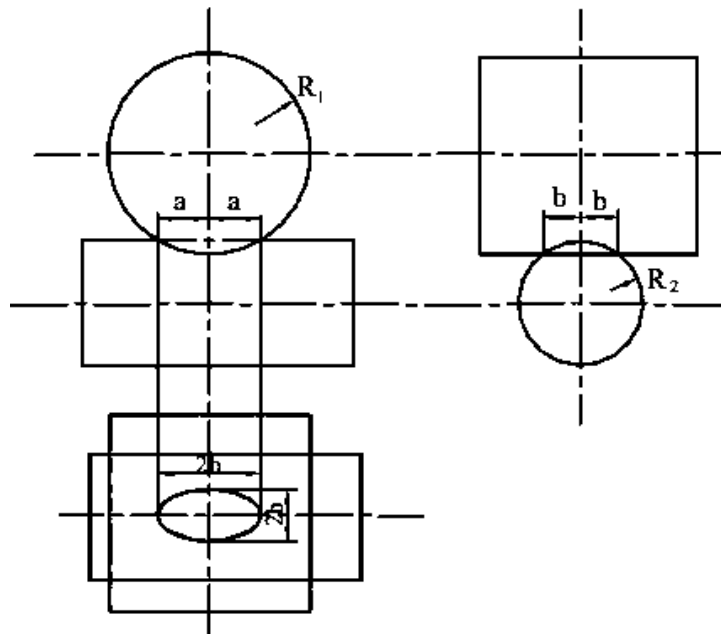


Рисунок 5.1– Схема взаємодії перехресних циліндрів в парі тертя

Геометрія контакту.

З перетинання кола першого циліндра та другого, нормального до осі першого, випливає співвідношення:

$$(5.1) \quad u_{W0} = \frac{a_*^2}{2 \times R_1}$$

Для другого циліндра аналогічно:

$$(5.2) \quad u_{W0} = \frac{b_*^2}{2 \times R_2}$$

Прирівнюючи співвідношення, будемо мати наступну рівність:

$$(5.3) \quad \frac{a_*^2}{2R_1} = \frac{b_*^2}{2R_2}$$

З цієї рівності знаходимо співвідношення півосей еліпса у вигляді площадки контакту:

$$(5.4) \quad \frac{a_*}{b_*} = \frac{\sqrt[0.5]{\frac{2R_1}{\xi}}}{\sqrt[0.5]{\frac{2R_2}{\xi}}} ; \quad b_* = a_* \frac{\sqrt[0.5]{\frac{2R_1}{\xi}}}{\sqrt[0.5]{\frac{2R_2}{\xi}}}$$

Площу еліпса визначаємо за формулою :

$$(5.5) \quad F = \rho \times a_* b_*$$

Дану площу можна визначити із співвідношення радіусів через одну піввісь. Підставляємо (5.4) у (5.5), отримуємо:

$$(5.6) \quad F = \rho \cdot \chi_*^2 \cdot \frac{\pi R_1^2 \delta^{0.5}}{R_2 \delta} = \chi_*^2$$

де

$$(5.7) \quad \chi = \rho \cdot \frac{\pi R_1^2 \delta^{0.5}}{R_2 \delta}$$

Під час аналізу експериментальних даних доцільно використовувати середнє значення площі контакту.

Для визначення середнього значення скористаємося умовою рівності площ еліпса та приведенного кола з радіусом a :

$$(5.8) \quad F = \rho \cdot \chi_* \cdot b_* = \rho \cdot \chi_*^2$$

З цієї рівності маємо:

$$(5.9) \quad a = (a_* b_*)^{0.5}$$

Отже, так як є можливість визначити експериментальну криву $a(S)$, згідно залежностей, вказаних у роботі [21], маємо змогу порахувати параметри моделі зношування.

Щоб знайти параметри степеневі апроксимації $a = CS^b$ використовують або дві точки: $(a_1; S_1)$ і $(a_2; S_2)$, чи метод найменших квадратів. Згідно двох точок маємо:

$$(5.10) \quad b = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} ; \quad C = \frac{a_1}{S_1^b}$$

Окрім того, для підрахунку параметрів моделі зношування, необхідний безперечно приведений радіус, який можна визначити з наведеної формули:

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$(5.11) \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

За наступними залежностями розрахуємо параметри моделі зношування:

$$(5.12) \quad m = \frac{1 - 2b}{2b}$$

$$(5.13) \quad k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/p)^m R}$$

5.1.2 Обладнання та методика для проведення випробувань зносостійкості антифрикційних матеріалів

Для визначення взаємозв'язку між розміром площадки контакту a та шляхом тертя S були здійснені випробування на зношення двох пар тертя.

Дослідні випробування виконувались на токарному верстаті, який обладнаний спеціальним пристосуванням. Схема даного пристосування на зношування представлена на рисунку 5.2.

Вал 1 з чавуну СЧ 20 вмонтований у шпинделі станка. Циліндричний зразок 2 розміщений на контртілі і притискається силою Q вантажем 5, маса якого відома. Зразок прикріплений гвинтом 3 до оправки 4. Щоб урівноважити масу пристосування, на іншому кінці тримача закріплюється противага 6.

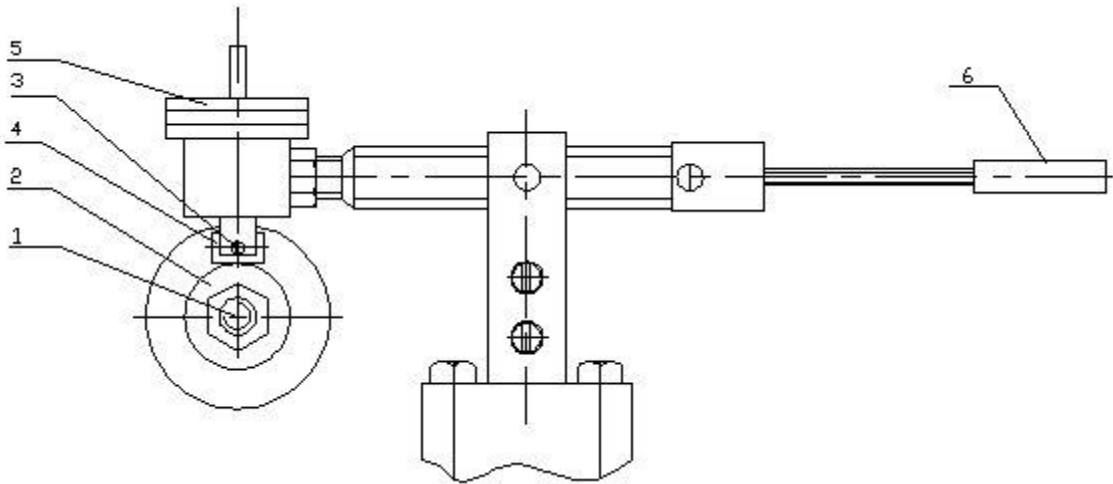
Дослідження виконуються в наступній послідовності:

- розмістити зразок у оправку 4;
- зафіксувати зразок 2 гвинтом 3;
- урівноважити вагу зразка та других елементів противагою 6;
- встановити на вісь затискача вантаж 5 з відомою масою;
- включити верстат та зафіксувати час;
- через необхідний період часу вийняти зразок в зворотній послідовності та заміряти розміри площадки контакту;
- встановити зразок у оправку так, щоб пляма контакту зайняла своє попереднє місце.

Повторюємо усі вище перераховані пункти дослідження з першого по

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

останній до тих пір, поки має проводитись експеримент.



1 – вал; 2 – циліндричний зразок; 3 – гвинт; 4 – оправка; 5 – вантаж; 6 – противага

Рисунок 5.2 – Схема пристосування для випробувань на зношування перехресних циліндрів

5.1.3 Результати випробувань та визначення параметрів моделі зношування

5.1.3.1 Початкові умови дослідження зносостійкості

Випробування виконувались за таких умов:

- частота обертів робочого валу $n = 650$ об/хв;
- діаметр робочого валу $d_g = 35$ мм;
- діаметр експериментального зразка $d_{1,2} = 10$ мм;
- загальне навантаження в контакті $Q = 0,1$ кг.

При виконанні експериментальних досліджень через певний проміжок часу заміряли розміри осей контактої еліптичної плями, що позначені $2a_*$ та $2b_*$. Радіус кола еквівалентний розраховували із співвідношення $a = (a_* b_*)^{1/2}$.

Шлях тертя S можна підрахувати за формулою:

$$S = \rho d n t \quad (5.14)$$

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

5.1.3.2 Визначення параметрів моделі зношування антифрикційного матеріалу Флубон-М

Усі дані, які були отримані під час експерименту, оформлено у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати випробувань на зношування Флубону-М

№	t , хв	$S \times 10^6$, мм	a , мм
1	1	0,07	0,2
2	5	0,36	0,39
3	10	0,71	0,49
4	15	1,072	0,52
5	25	1,787	0,62
6	60	4,288	0,78
7	120	8,577	0,89

Щоб визначити параметри степеневі апроксимації застосуємо залежності (5.10). На графічній залежності $a = f(S)$ вибираємо дві точки:

$$T1(a_1; S_1) = (0,62; 1,787 \times 10^6) \quad \text{і} \quad T2(a_2; S_2) = (0,89; 8,577 \times 10^6)$$

$$b = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} = 0,23 ;$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^b} = 0,022.$$

Підраховуємо приведений радіус: $R = \frac{17,3 \times 8}{17,3 + 5} = 3,889$ мм.

А параметри моделі зношування будемо визначати по формулах (5.12) та (5.13):

$$m(1) = \frac{1 - 2b}{2b} = 1,17$$

$$k_w(1) = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/p)^m R} = 2,349 \times 10^{-7} (\text{мм}^2/\text{кг})^m$$

Що стосується інтенсивності зношування, необхідно визначені параметри підставити в отриману модель зношування.

5.1.3.3 Визначення параметрів моделі зношування матеріалу поліуретан УР-70 В

Дані результатів експерименту, для зручності, зведено у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати випробувань на зношування поліуретану УР-70 В

№	t , хв	$S \times 10^6$, мм	a , мм
1	1	0,07	0,2
2	5	0,36	0,52
3	10	0,71	0,60
4	15	1,072	0,66
5	25	1,787	0,75
6	60	4,288	0,88
7	120	8,577	1,08

Для підрахунку параметрів апроксимації степеневі використаємо формули (5.10). На графіку виділяємо дві точки:

$$T1(a_1; S_1) = (0,75; 1,787 \times 10^6) \text{ та } T2(a_2; S_2) = (1,08; 8,577 \times 10^6)$$

$$b = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} = 0,232 ;$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^b} = 0,026.$$

Згідно формул (5.12) та (5.13) знаходимо параметри моделі зношування:

$$m(2) = \frac{1 - 2b}{2b} = 1,151 ,$$

$$k_w(2) = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/p)^m R} = 5,129 \times 10^{-7} (\text{мм}^2/\text{кг})^m$$

Параметри моделі зношування для Флубону-М та поліуретану УР-70В представлені у таблиці 5.3

Таблиця 5.3 – Параметри моделі зношування для Флубону-М та поліуретану УР-70В

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Матеріал	β	$C \frac{мм}{мм^b}$	m	$K_w, 10^{-7}$	Інтенсивність зносу
1	Флубон-М	0,23	0.022	1.17	2.349	$I_1 = k_w (1) s^{m(1)} = 2,349 \times 10^{-7} s^{1,17}$
2	Поліуретан УР-70В	0,232	0,026	1.151	5.129	$I_2 = k_w (2) s^{m(2)} = 5,129 \times 10^{-7} s^{1,151}$

5.2 Залежність інтенсивності зносу від контактних тисків антифрикційних матеріалів

Маючи результати розрахунків параметрів моделі зношування для досліджуваних матеріалів, можемо виконати порівняльну оцінку інтенсивності зношування. Таким чином, для Флубону-М інтенсивність зношування:

$$I_1 = k_w (1) s^{m(1)} = 2,349 \times 10^{-7} s^{1,17}; \quad (5.15)$$

а для поліуретану марки УР-70 В буде така:

$$I_2 = k_w (2) s^{m(2)} = 5,129 \times 10^{-7} s^{1,151}. \quad (5.16)$$

Визначимо вплив величини контактного тиску на інтенсивність зношування для обох досліджуваних матеріалів. Результати експериментальних та теоретичних розрахунків з застосуванням параметрів моделі зношування для матеріалів флубон-М та поліуретану УР-70В зносимо у таблицю таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку інтенсивності зносу в зоні тертя

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

№	$s, \frac{\text{æкг} \cdot \ddot{\text{ö}}}{\text{емм}^2 \cdot \text{ø}}$	$I_1 \cdot 10^{-8}$	$I_2 \cdot 10^{-8}$	I_1/I_2
1	0,05	0,71	1,63	0,433
2	0,1	1,59	3,62	0,439
3	0,15	2,55	5,78	0,442
4	0,2	3,58	8,05	0,444
5	0,3	5,75	12,83	0,448
6	0,4	8,05	17,87	0,45
7	0,5	10,44	23,1	0,452
8	0,6	12,92	28,5	0,454
9	0,8	18,09	39,7	0,456
10	1	23,49	51,3	0,458

Для більшої наглядності представимо ці результати графічно на рисунку 5.3

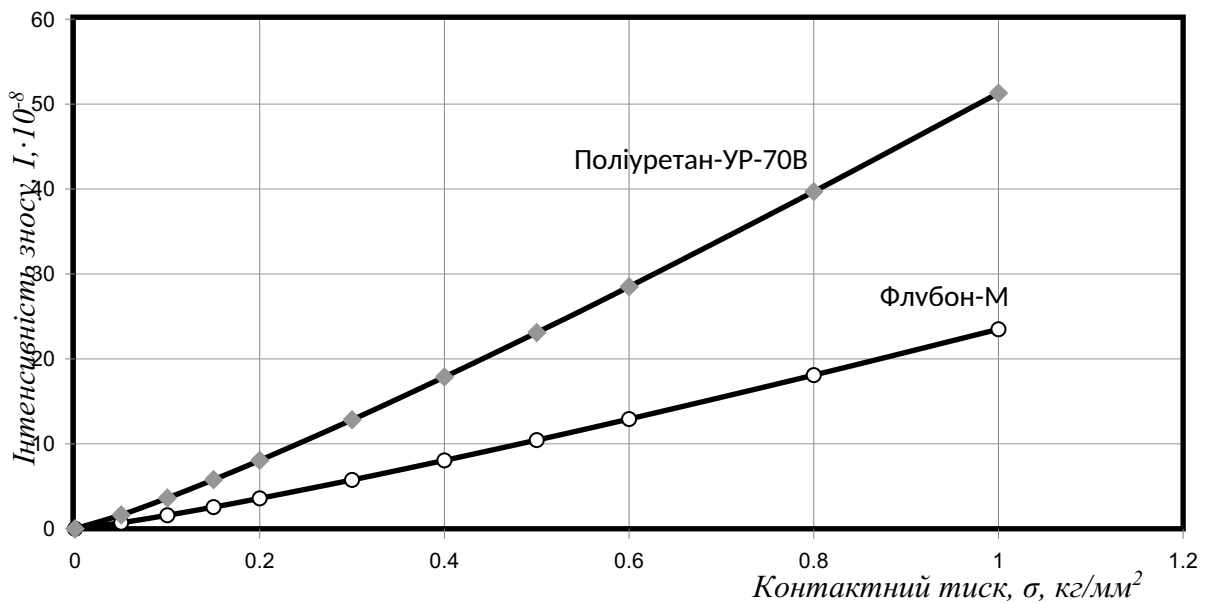


Рисунок 5.3 – Залежність інтенсивності зносу матеріалів Флубон-М та поліуретан-УР-70В від контактних тисків

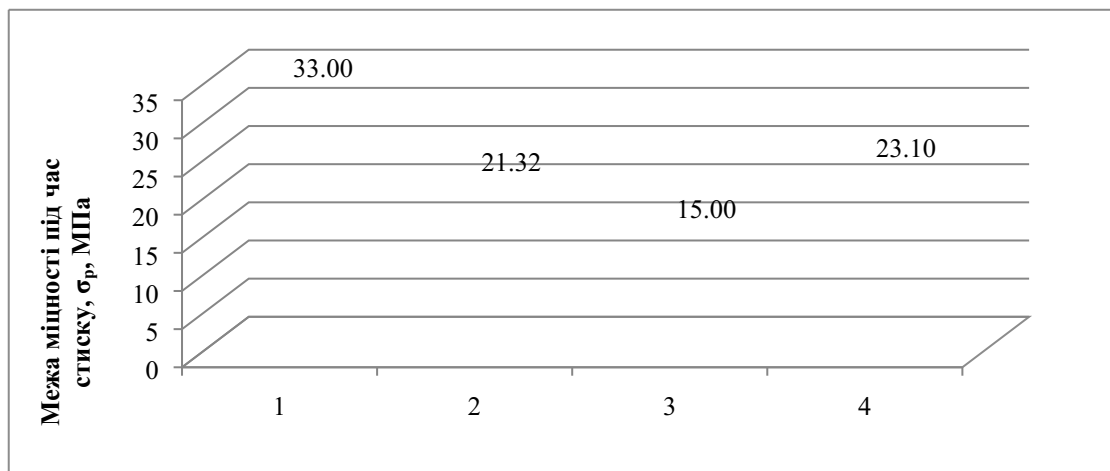
Результати досліджень на знос показали, що за зносостійкістю матеріал Флубон-М у 2.18 разів переважає базовий матеріал поліуретан УР-70В при контактному тиску 1 кг/мм² (9.8 МПа).

5.3 Дослідження міцності при стискуванні антифрикційних матеріалів

Експериментальні дослідження при стискуванні антифрикційних полімерних матеріалів проводили за допомогою розривної машини марки Р-0,5. Зразки для досліджень мають бути у вигляді циліндрів діаметром 10 мм і висотою 15 мм. Сам процес стискування виконували зі швидкістю руху траверси розривної машини 2,5 мм на хвилину [22]. Щоб розрахувати міцність при стисненні, застосовували формулу:

$$(5.17) \quad \sigma = \frac{N}{F}$$

де N – нормальне навантаження, Н; F – площа поперечного перерізу зразка, мм². На рисунку 5.5 представлені результати експериментальних досліджень на стискування антифрикційних фторопластових матеріалів та поліуретану УР-70-В.



1 – Флубон-М; 2 – Ф4К20; 3 – АФГМ; 4 – Поліуретан УР-70-В

Рисунок 5.5 – Гістограма межі міцності під час розтягу фторопластових композиційних матеріалів та поліуретану УР-70 В

Результати експериментальних досліджень на стискування антифрикційних фторопластових полімерних матеріалів та поліуретану УР-70-В

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

показали, що металізований карбопластик Флубон-М по своїм властивостях переважає поліуретан УР-70 В на 30 %, матеріал Ф4К20 – на 35,4 %, а матеріал АФГМ – на 55,5 %. Тому, металізований карбопластик Флубон-М рекомендований для застосування у якості підшипника ковзання рульового керування автомобіля.

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз конструкції рульового управління автомобіля ВАЗ – 21011 та вузла тертя підшипник ковзання — вісь маятника. Визначені умови роботи вузла тертя. Розроблена технологія технічного обслуговування та поточного ремонту вузла тертя.

2. Вибраний метод підвищення зносостійкості втулок маятника рульового управління за рахунок заміни базового матеріалу поліуретан УР-70В на металізований карбопластик Флубон-М.

3. Розроблена технологія виготовлення підшипника ковзання рульового управління з карбопластику Флубон-М.

4. Оцінка зносостійкості вузла тертя підшипника ковзання — вісь маятника рульового управління виконана за схемою перехресних циліндрів для базового матеріалу та карбопластику Флубон-М з визначенням параметрів моделі зношування. Результати досліджень на знос показали, що за зносостійкістю матеріал Флубон-М у 2.18 разів переважає базовий матеріал поліуретан УР-70В при контактному тиску 1 кг/мм^2 (9.8 МПа).

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Результати дослідження на стискування антифрикційних фторопластових матеріалів та поліуретану УР-70-В показали, що металізований карбопластик Флубон-М переважає поліуретан УР-70 В на 30 %, матеріал Ф4К20 – на 35,4 %, а матеріал АФГМ – на 55,5 % і може бути рекомендований для застосування в якості підшипника ковзання рульового керування автомобіля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Раєвський М. А. Посібник з експлуатації автомобіля «Жигулі» / М. А. Раєвський, А. В. Райченко. – Київ: «Техніка». – 1985. – 135 с.

2. Підшипники ковзання. Умовні позначення [Текст]. - К. : Держспоживстандарт України, 2004 . - (Національний стандарт України). Ч. 1 : ДСТУ ГОСТ ИСО 7904-1:2003 ; Основні умовні позначення (ГОСТ ИСО 7904-1-2001, IDT) / оформ. О. Рак ; . - Чинний в Україні від 01.07.2004. - К. : [б.в.], 2004. - III, III, 6 с.

3. Довбенко М. М. Підвищення ресурсу аксіально-поршневих гідромашин засобів транспорту: автореф. дис. ... к. т. н. : 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – 2019.

4. ГОСТ 9492-83 "Підшипники ковзання. Загальні технічні вимоги та методи випробувань".

5. Антифрикційні термостійкі полімери / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський, В. Д. Герасімов, В. З. Ніконов. – Київ : Техніка, 1978. – 246 с.

6. Сіренко Г. О. Антифрикційні карбопластики / Г. О. Сіренко. – Київ :

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Техніка, 1985. – 195 с.

7. Гетьманчук Ю.П. Хімія та технологія полімерів / Ю.П. Гетьманчук, М.М. Братичак. – Львів: Бескид Біт. –2006. – 496 с.

8. ASTM D4070-19 "Standard Test Method for Wear Testing of Sliding Materials"

9. Буря А. І. Розробка та застосування вуглепластиків поліарілату у конструкціях бурякозбиральних машин // Вісн. аграр. науки. - 1998. - № 8.

10. Ісикава Т. Вуглецеві волокна. / Т. Ісикава. – Хёмэн, 1970. – Т.9. – № 8. – С. 543-560.

11. Косторнов А. Г. Вплив складу порошкового підшипникового матеріалу на основі міді на його службові характеристики. — 2005 // Порошкова металургія.

12. Буря А. І. Структура і механічні властивості вуглепластиків на основі фенілону С-2, армованих металовмісними вуглецевими волокнами / А. І. Буря, А. М. Сафонова, Л. А. Губачева // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.–2013. – №9 (198), Ч.1. – С. 1–6.

13. Чернець М. В. Дослідження параметрів контакту у циліндричних металополімерних напрямних ковзання // Проблеми тертя та зношування. - 2021. - № 1.

14. Методологічні основи розрахунку металевих і металополімерних підшипників ковзання: контактна міцність, зношування, довговічність : [монографія]. — Київ: НАУ, 2022.

15. Квич М.Б., Сіренко Г.О., Кириченко В.І. Відновлення міді в поверхневих шарах металізованого карбонового волокна // Вісник Прикарп. нац. ун-ту ім. Василя Стефаника. Сер. Хімія.-Вип.V. – Івано-Франківськ: Гостинець, 2008. – С.84-91.

16. Сіренко Г.О., Солтис Л.М., Кириченко В.І., Складанюк М.Б. Багатостадійний процес відновлення міді на поверхні карбонового волокна // Вісник Хмельницького. нац. ун-ту. Серія «Технічні науки». – Хмельницький, 2012. – №3. – С. 258-265.

17. Сіренко Г.О., Солтис Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П., Складанюк

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

М.Б. Фізико-хімічні основи металізації вуглецевих волокон та явище вибіркового переносу міді в трибоконтаті полімерний композит – метал // Вісник Прикарп. нац. ун-ту ім. Василя Стефаника. Серія Хімія. – Івано-Франківськ: 2012. – Вип. XIV. – С. 50-76.

18. Сіренко Г.О., Квич М.Б. Відновлення тонких плівок міді на активованих вуглецевих волокнах // Матеріали X Міжнародної конференції “Фізика і технологія тонких плівок”. – 16-21 травня 2005 р., м.Івано-Франківськ – Івано-Франківськ: Гостинець, 2005. –Т.І – С.145.

19. Складанюк М.Б., Сіренко Г.О., Базюк Л.В., Мідак Л.Я., Кириченко Л.М. Технологія та антифрикційні властивості карбонізованих вуглецевих волокон, покритих тонкими шарами міді // Матеріали XII Міжнародної конференції «Фізика і технологія тонких плівок та наносистем». – 18-23 травня 2009 року, м. Івано-Франківськ, Україна – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2009. –Т.ІІ – С. 268 – 271.

20. Диха О. В., Свідерський В. П., Дробот О. С., Машовець Н. С. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем : монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.

21. Кузьменко А. Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність. навч. посіб./ А. Г. Кузьменко . – Хмельницький, ХНУ. – 2002. – 151 с.

22. Сіренко Г.О. Термотривкі полімери / Г. О. Сіренко, М. Б. Складанюк: Підручник. – Івано-Франківськ: Вид. Супрун В. П. – 2021. – 400 с.

					КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

1. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості пари тертя поршень –циліндр насосів автомобільної техніки / В. Свідерський, О. Олятівський, О. Медведчук // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» 14–16 травня 2025 року. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2025. – С. 32-34.

2. Свідерський В. Підвищення зносостійкості підшипників ковзання рульового керування легкового автомобіля / В. Свідерський, Л. Кириченко, О. Олятівський, О. Медведчук // Матеріали II Міжнародної наукової конференції студентів і молодих вчених «Проблеми та інновації у розвитку інженерії, технологій та транспорту» 24 – 26 квітня 2025 р. – Хмельницький : ХНУ, 2025. – С. 558-566. <https://piitt.khmnu.edu.ua/materialy-konferencziyi/>

					КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100



Національний університет
водного господарства
та природокористування



СЕРТИФІКАТ

підтверджує, що

ОЛЯТІВСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ

взяв участь у роботі

V Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА
ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»

14-16 травня 2025 року

Обсяг: 9 год. (0,3 кредити ЄКТС)

16 травня 2025



М. М. Марчук



Реєстраційний номер: **ТТ-5МНТК/25.16**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвРМТВА 024349.01.23.ПЗ

Арк.

101

CERTIFICATE



ISSUED TO CERTIFY THAT

Oleksii Oliativskiy

participated in
II International Scientific Conference of Students and Young Scientists

Serhii Matiukh
rector

April 24 – 26, 2025



Khmelnytskyi National University

S. M.
signature

Khmelnytskyi

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРМТВА 024349.01.23.ПЗ

Арк.

102