

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка технологічного процесу виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля

Рівень вищої освіти бакалавр
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
Освітня програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр КРБМТВАТАМ 25.22154.000.ПЗ

Виконав студент 3-го курсу
група МТВАс 22-2
Шифр



Підпис

Максим КОХАНЕВИЧ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання



Підпис

Владислав СВИДЕРСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва



Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 6.06.2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

20 02 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Коханевича Максима Валентиновича

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи « Розробка технологічного процесу виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля»

керівник роботи Свідерський Владислав Петрович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 лютого 2025р. № 23 (Д14)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла дослідження; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт;

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

1. Аналіз умов роботи пари тертя втулка – рейка рульового керування легкового автомобіля. 2. Аналіз властивостей фторопластових композиційних матеріалів для виготовлення втулки рейки рульового керування. 3. Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і втулок рейки рульового керування автомобіля з фторопластового карбонпластика Ф4ВВ20. 4. Дослідження зносостійкості та міцності на розтяг матеріалу Ф4ВВ20 з метою контролю його якості для даного вузла тертя.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20.02 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	Аналіз умов роботи пари тертя втулка – рейка рульового керування легкового автомобіля.	1.05.2025	
2	Аналіз властивостей фторопластових композиційних матеріалів для виготовлення втулки рейки рульового керування.	15.05.2025	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і втулок рейки рульового керування автомобіля з фторопластового карбопластика Ф4ВВ20.	25.05.2025	
4	Дослідження зносостійкості та міцності на розтяг матеріалу Ф4ВВ20 з метою контролю його якості для даного вузла тертя.	1.06.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки	2.06.2025	
7	Оформлення презентації бакалаврської роботи	5.06.2025	
8	Нормоконтроль бакалаврської роботи	9.06.2025	
9	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.06.2025	

Студент

 Максим КОХАНЕВИЧ

Керівник роботи

 Владислав СВИДЕРСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота студента групи МТВАс-22-2 Коханевича Максима Валентиновича на тему: «Розробка технологічного процесу виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля».

Обсяг роботи: 56 с., 15 табл., 13 рис., 10 джерела зі списку літератури, 1 додаток.

Рульове керування автомобіля вважають важливим засобом управління. Від працездатності та надійності даного вузла залежить безпека переміщення автомобіля, а також життя учасників дорожнього руху. Втулка рейки рульового керування – це дуже важлива складова транспортного засобу, так як через її несправність можуть виникнути негативні наслідки: люфт рульового колеса або туге обертання рульового колеса, стукіт та шум у рульовому керуванні, а також кутове самовільне коливання передніх коліс і відповідно недостатня стійкість автомобіля.

Мета даної роботи полягає в аналізі умов роботи втулок рейки рульового керування автомобіля та аналізу властивостей композиційних полімерних матеріалів на основі фторопласту-4, розробка технологічного процесу виготовлення їх з антифрикційного матеріалу Ф4ВВ20, а також виконати на лабораторних установках контроль якості їх методом оцінки зносостійкості та міцності на розтяг.

Об'єкт дослідження: втулка рейки рульового керування автомобіля.

Досліджено умови роботи пари тертя втулка – рейка рульового керування автомобіля. Засвоєна технологія технічного обслуговування і поточного ремонту агрегату, вузлів тертя.

Виконано аналіз антифрикційних полімерних матеріалів на основі фторопласту-4 для втулок рейки рульового керування автомобіля.

Розроблено технологію виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля з антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20.

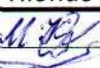
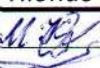






Виконані дослідження зносостійкості та міцності на розтяг антифрикційних карбопластиків Ф4ВВ20 втулок рейки рульового керування автомобіля для оцінки їх якості.

Графічна частина представлена у вигляді презентації.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МІЦНІСТЬ НА РОЗТЯГ, ВТУЛКА РЕЙКИ, РУЛЬОВЕ КЕРУВАННЯ, ФТОРОПЛАСТОВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналіз конструкції агрегату та вузлів тертя.....	9
1.1 Опис конструкції вузла та деталей, призначення і робота.....	9
1.1. Загальна характеристика автомобіля	9
1.2 Механізм рульового управління	11
1.2.1 Конструктивні особливості рульового управління.....	11
1.2.2 Опис рульового управління.....	11
1.3 Несправності в рульовому управлінні і їх усунення.....	12
1.4 Технічне обслуговування рульового управління.....	14
2 Характеристика антифрикційних матеріалів пари тертя, хімічний склад, фізико-механічні та зносостійкі властивості.....	16
2.1 Фізико-механічні властивості фторопласту-4.	18
2.2 Антифрикційні властивості фторопласту-4.....	21
2.3 Теплофізичні властивості фторопласту-4.....	22
2.4 Композиційні матеріали на основі фторопласту-4.....	24
2.5 Постановка задачі на відновлення та підвищення зносостійкості.....	29
3 Технологічний процес виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля з матеріалу Ф4ВВ20.....	31
3.1 Підготовка матеріалу.....	32
3.2 Устаткування й оснащення та технологія пресування заготовок	35
3.2.1 Розрахунок маси наважки.....	38
3.2.2 Технологія та режими пресування заготовок.....	39
3.3 Термічна обробка заготовок.....	41
3.4 Проведення експериментальних дослідів для контролю якості матеріалу втулки рейки рульового керування.....	45

КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ								
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата	Розробка технологічного процесу виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Коханевич М. В.			10.06.25		Н	5	56
Перевір.	Свідерський В. П.			10.06.25		ХНУ, група МТВАс-22-2		
Н.контр.	Бабак О. П.			10.06.25				
Затвер.	Диха О. В.			10.06.25				

3.4.1 Методика та дослідження на розтяг розроблених композиційних матеріалів.....	46
3.4.2 Методика та дослідження зносостійкості антифрикційних композиційних матеріалів Ф4ВВ20.....	50
Висновки.....	54
Список використаної літератури.....	55
Додатки.....	56

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Основні вузли автомобіля на протязі останнього століття залишаються незмінними – це кузов, колеса, чотиритактний двигун внутрішнього згоряння, система керування, трансмісія і т.д. Проте, ці механізми, агрегати, деталі та системи зазнали значного розвитку і звичайно стали складнішими.

Цей розвиток дозволив зростання потужності, підвищення швидкості автомобіля, економічності та комфорту, і, безумовно, покращення дизайну. Також розширилася номенклатура застосованих деталей та збільшилася їхня кількість [1].

Вивчення автомобілів однієї моделі або декількох не дає уявлення про будову та характеристику усіх автомобілів. Щоб швидко й ефективно підготувати фахівця з експлуатації та технічного обслуговування автомобілів, необхідно пояснити ключові процеси та явища, що забезпечують роботу автомобіля, і розкрити принципи, на яких вони базуються.

Так як принцип дії багатьох вузлів автомобілів схожий, для одержання загального уявлення процесу роботи їх буде достатньо ознайомитися з декількома основними конструктивними рішеннями.

Вибір дослідження рульового управління легкового автомобіля, а конкретно: заміна втулки маятникового важеля на більш зносостійкий матеріал карбопластик Ф4ВВ20 у даний час є доцільним. У 90 відсотків випадків вузли тертя автомобілів – це вузли з рухливими елементами, виходять з роботи у результаті зносу [2].

В машинобудуванні проходить постійний процес удосконалення, у тому числі і вузлів тертя.

Цей процес можна поділити на два етапи:

- пошук та реалізація технологічних або конструктивних способів підвищення зносостійкості;
- експериментальна та розрахункова оцінка ефективності вдосконалення вузла тертя, підвищення його зносостійкості.

В даний період автомобільна промисловість відчуває потребу у нових полімерних матеріалах з високими антифрикційними характеристиками.

Досить різноманітні умови експлуатації вузлів тертя, частіше усього, між

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

взаємодіючими поверхнями, ставлять перед дослідниками питання по розробці спеціальних антифрикційних матеріалів з унікальними властивостями. У машинобудуванні необхідні антифрикційні полімерні матеріали, які характеризуються підвищеною міцністю, теплопровідністю, термостійкістю, жорсткістю, при цьому мають низьке теплове розширення.

Використання ненаповнених полімерів і порошкоподібних металів виступає як альтернатива застосуванню антифрикційного чавуну.

Як антифрикційні матеріали, ненаповнені полімери у порівнянні з металами мають кілька серйозних переваг. Серед них можна назвати наступні: можливість працювати без мащення або при умові обмеженого мащення; низький коефіцієнт тертя; відсутність заїдання та пошкоджень поверхні контактного металу; стійкість до фізичних та хімічно активних середовищ.

Для того, щоб зменшити недоліки полімерів використовують додавання до композиції дисперсних або волокнистих твердих матеріалів у концентраціях понад 3–5 відсотків. Це дає можливість підвищити зносостійкість та покращує технологічні характеристики полімерів.

Так, у зв'язку зі зростанням цін на нафтову сировину та дефіцит деяких полімерів, стає актуальним питання застосування наповнювачів для підвищення зносостійкості та здешевлення полімерних матеріалів. З цієї точки зору, антифрикційні карбопластики можуть вважатися перспективними антифрикційними полімерними матеріалами.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ АГРЕГАТУ ТА ВУЗЛІВ ТЕРТЯ

1.1 Опис конструкції вузла та деталей, призначення і робота

1.1.1 Загальна характеристика автомобіля

Легковий автомобіль ЗАЗ-1102 "Таврія" призначений для перевезення пасажирів по дорогах загального користування і є новою моделлю другої групи, що належить до особливо малого класу. Умови експлуатації даного автомобіля: температура навколишнього середовища від - 40 до +40 °С, відносна вологість повітря до 80 відсотків при +20 °С [1].

Випуск автомобіля ЗАЗ-1102 "Таврія" підприємство здійснювало з 1987 року. Паралельно з базовою моделлю випускали автомобілі у різних модифікаціях та комплектаціях, які різняться комбінацією приладів, вузлами управління, устаткуванням, дизайном салону та ін.

У результаті наступних модернізацій випускались автомобілі "Таврія" таких моделей:

ЗАЗ-110206 — автомобіль, у якому враховані усі конструктивні зміни та доповнення, що внесені за час випуску ЗАЗ-1102;

ЗАЗ-110216 — поліпшений варіант базової моделі з покращеним салоном, новою конструкцією панелі приладів, комбінації приладів, встановлення нових приладів по електроустаткуванню (модель "Люкс");

ЗАЗ-1105 — п'ятидверний автомобіль із зміненою формою задньої частини кузова, зміненими бамперами та новими ліхтарями;

ЗАЗ-110550 — автомобіль "Пікап" з кабіною на дві особи та кузовом до 300 кілограм вантажу.

Розглянемо основні технічні характеристики автомобіля «Таврія».

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ДАНІ:

Колісна формула.....	4x2
Провідні колеса.....	передні
Кількість дверей.....	3
Кількість місць.....	5
Розподіл навантаження на дорогу, кгс: автомобіля повною масою:	
через шини передніх коліс.....	573
через шини задніх коліс.....	537
не спорядженого автомобіля:	
через шини передніх коліс.....	440
через шини задніх коліс.....	270
Маса вантажу, що перевозиться, кг.....	400
Маса вантажу, що перевозиться в багажнику, кг.....	50
Повна маса буксированого причепа	
з гальмами/без гальм, кг.....	600/300
Найменший радіус повороту автомобіля	
по осі сліду переднього колеса, м.....	5,0
Зовнішній габаритний радіус повороту автомобіля, м.....	5,5
Ширина коридору, займана автомобілем при повороті	
із зовнішнім габаритним радіусом 5,5 м, м.....	2,5
Максимальна швидкість руху автомобіля на вищій передачі, км/ч:	
повною масою.....	140
з водієм і одним пасажиром.....	145
Час розгону автомобіля до швидкості 100 км/ч, з:	
повною масою.....	20
з водієм і одним пасажиром.....	17
Гальмівний шлях автомобіля повною масою	
із швидкістю 80 км/ч, м.....	43,2
Найбільший підйом, подоланий автомобілем повною масою % (град).....	
	36 (19)
Витрата палива, л/100 км :	
при 90 км/ч.....	4,6
при 120 км/ч.....	6,6
у міському циклі.....	6,8
Питома потужність автомобіля кВт/кг.....	0,046
Ресурс до першого капітального ремонту при 1 категорії умов експлуатації автомобіля, км.....	
	125 000
Напрацювання на відмову, км.....	15 000
Періодичність технічного обслуговування, км.....	15 000

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

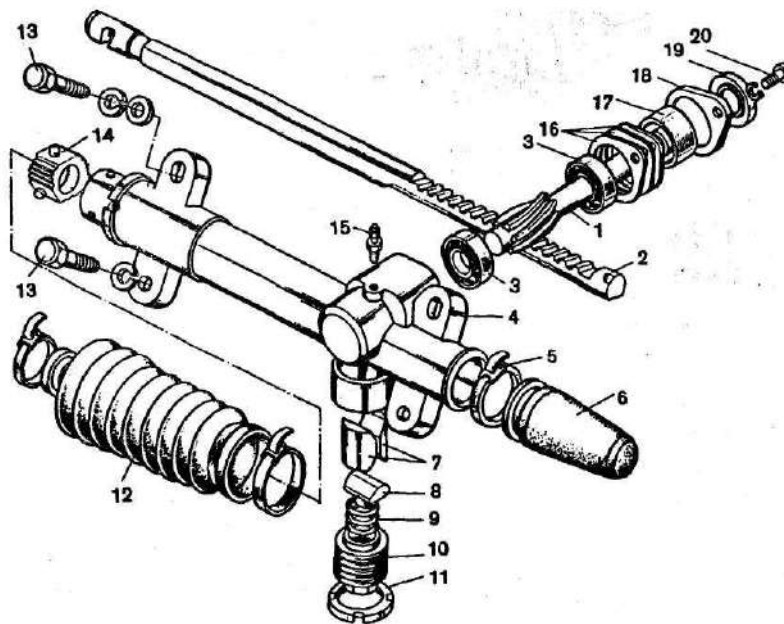
1.2 Механізм рульового управління

1.2.1 Конструктивні особливості рульового управління

Тип рульового управління.....	шестерня-рейка
Число оборотів рульового колеса між крайніми положеннями.....	17
Максимальний кут повороту керованих коліс:	
внутрішнє колесо.....	36°
зовнішнє колесо	29°30'
Діаметр мінімальний повороту, м	9,7

1.2.2 Опис рульового управління

На даному автомобілі розташований рульовий механізм рейка-шестерня (рисунок 2.1).



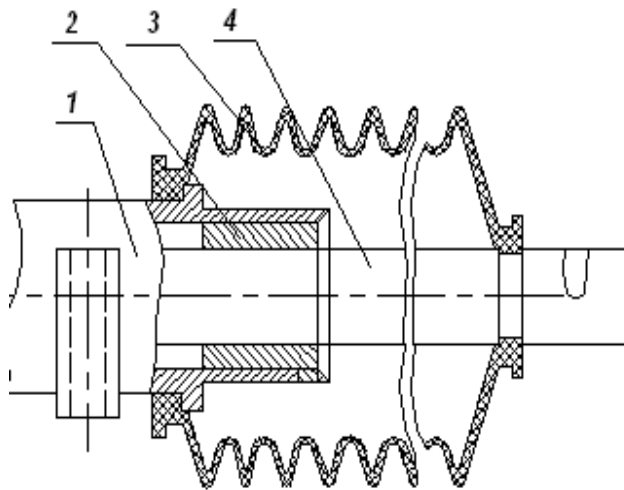
1 – шестерня рульового управління; 2– рейка; 3– підшипник шестерні; 4 – картер; 5–хомут; 6–чохол рейки лівий; 7– опора рейки; 8– підп'ятник пружини; 9– пружина; 10–пробка картера; 11–гайка штопорна; 12–чохол рейки правий; 13– болт кріплення картера; 14–втулка рейки; 15– сапун; 16– регулювальна прокладка; 17– втулка розпору; 18– кришка; 19– ущільнювач картера; 20– болт кріплення кришки.

Рисунок 1.1 – Деталі рульового механізму

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Рульовий механізм закріплений у моторному відсіку до щита передньої частини болтами 13 за проушини алюмінієвого картера 4. В картері вмонтована шестерня 1 на двох кулькових підшипниках 3 та рейка 2, яка хвостовиком у вигляді циліндра опирається на втулку 14, а на шестерню зубчатою частиною. До шестерні рейка прижата пружиною 9, яка розміщена у порожнині пробки 10 за допомогою під'ятника 8 та напівциліндричної упори 7. Безпосередньо механізм ущільнюється у картері гофрованим чохлом 12, гладким чохлом 6 та ущільнювачем 19, розташованим у кришці картера.

На рисунку 1.2 зображено вузол тертя втулка – рейка рульового управління.



1– корпус; 2– втулка рейки; 3–резиновий захисний чохол; 4 – вал рейки

Рисунок 1.2 – Рульова колонка

Підшипник рульового валу змащується мастилом при збиранні вузла і в процесі експлуатації не замінюється.

1.3 Несправності в рульовому управлінні і їх усунення

Рульове управління автомобіля постійно має бути справним та легким в процесі руху. У випадку появи будь-яких неполадок у рульовому управлінні необхідно, не відкладаючи, виконати їх усунення. Можливі неполадки рульового механізму, причини їх виникнення та методи усунення вказані в таблиці 1.1.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Можливі неполадки рульового механізму, їх причини та методи усунення

Причина неполадки	Метод усунення
<i>Збільшений вільний хід рульового колеса</i>	
Збільшений зазор в шарнірах коліс.	Зношені деталі замінити.
Порушення регулювання у щепленні шестерня – рейка, або підвищене зношення їх.	Відрегулювати зазор у щепленні шестерня – рейка, або замінити зношені деталі.
Послаблене кріплення картера рульового механізму.	Підтягнути болти кріплення картера.
<i>Люфт рульового колеса на валу</i>	
Слабке затягування гайки рульового колеса чи збільшений люфт в з'єднанні шарніра верхнього та нижнього валів.	Підтягти гайку кріплення рульового колеса, болтового з'єднання та усунути неполадку.
<i>Осьове переміщення шестерні, відчутне на рульовому колесі</i>	
Порушення регулювання натягів підшипників шестерні.	Відрегулювати натяг підшипників.
<i>Заїдання у рульовому механізмі</i>	
Неправильне регулювання у зачепленні шестерня – рейка, або натягу підшипників шестерні.	Відрегулювати рульовий механізм.
Великий знос втулки, рейки, шестерні.	Замінити зношені деталі.
<i>Пошкодження захисних чохлаів рульового механізму</i>	
Старіння гуми або механічні пошкодження.	Замінити пошкоджені чохлаи. Якщо в картер потрапила волога або пил, розібрати механізм, промити, замінити мастило.

1.4 Технічне обслуговування рульового управління

Через кожні 15 000 км пробігу необхідно перевірити стан шарнірів рульової тяги і захисних гумових чохлів та ковпачків. У випадку появи тріщин або виривів необхідно замінити. Недопустима експлуатація шарнірів та рульового механізму з порушеними ущільнювачами.

Через кожні 30 000 км пробігу потрібно перевірити вільний хід рульового колеса. Перевірка виконується при нормальних зазорах у рульовому управлінні та розташуванні коліс відповідно руху автомобіля по прямій на твердому покритті. При цьому зусилля, прикладене до обода рульового колеса не повиненно перевищувати 0,75 кгс. У випадку, якщо вільний хід вище вказаного, необхідно відрегулювати рульове управління.

Для цього потрібно:

- впевнитись у правильному регулюванні зазорів у підшипниках маточин передніх коліс та необхідному тиску повітря в шинах;
- перевірити стан опор стійок передньої підвіски та впевнитись у їх справності;
- повертаючи рульове колесо у різні сторони, перевірити відсутність стуків у рульовому механізмі, шарнірах тяги та з'єднаннях;
- перевірити та при потребі підтягти кріплення: рульового механізму до кузова (чотири болти, момент затягування від 2,8 до 3,6 кгс·м), кронштейна до рейки (болт один, момент затягування від 3,2 до 3,6 кгс·м), рульової тяги до кронштейну (два болти, момент затягування від 2 до 2,5 кгс·м), рульової тяги до важелів стійки передньої підвіски (дві гайки, момент затягування від 2 до 2,5 кгс·м), затиску клемного рульового валу з хвостовиком шестерні (болт один, момент затягування від 3 до 3,5 кгс·м).

Після перевірки та закріплення усіх з'єднань потрібно знову перевірити зазор рульового механізму та вільний хід рульового колеса. У випадку, коли вільний хід перевищує допустимий, потрібно відрегулювати рульовий механізм.

Регулювання рульового механізму ліпше всього виконувати при знятому з

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автомобіля механізмі. У знятому механізмі є можливість точніше виконати регулювання. При регулюванні на не знятому з автомобіля рульовому механізмі, необхідно підвести передню частину автомобіля таким чином, щоб колеса не торкалися підлоги.

Роботу по регулюванню виконують у такій послідовності:

– викрутити стопорну гайку та закрутити регулювальну пробку 7 картера таким чином, щоби при прокручуванні шестерні 1 рульовим колесом та зміщенні рейки 2 з крайніх положень були відсутні заїдання. Регулюючи такі переміщення рейки 2 необхідно повторити кілька разів для того, щоб переконатися у відсутності заїдання у зачепленні, а також максимально наблизити упори 7 до рейки 2;

– закрутити стопорну гайку 11, прикладаючи момент не меншого 7 кгс · м. У відрегульованому механізмі момент провертання шестерні 1 має бути 0,04–0,12 кгс·м.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ХАРАКТЕРИСТИКА АНТИФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПАРИ ТЕРТЯ, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ЗНОСОСТІЙКІ ВЛАСТИВОСТІ

Фторопласт-4 – це полімер кристалічний, температура плавлення кристалітів якого 327 °С, з температурою склування ділянок аморфних від мінус 100 до мінус 120 °С. А при температурі, що вище за температуру розкладання, а це – 415 °С, фторопласт-4 у в'язкотекучий стан не переходить. При температурі 370 °С в'язкість розплаву його наближається приблизно до 1011 Пуаз (Пз), тобто в 1000000 разів більше в'язкості, яка потрібна для лиття під тиском, тому переробка цього полімеру виконується лише методом спікання відпресованих таблеток.

1 Пз = 1г/(см·с), у системі СІ в'язкість визначається у паскалях·секунду (Па·с), де: 1 Пуаз = 0,1 Па·с.

В залежності від швидкості охолодження після спікання до температури нижчої 250 °С можна одержати загартовані деталі з ступенем кристалічності близької 50 відсотків та щільністю біля 2,15 г/см³ або незагартованими з ступенем кристалічності більшої 65 відсотків і щільністю вище 2,20 г/см³. За температури експлуатації від мінус 269 °С до плюс 260 °С ступінь кристалічності, який був досягнутий при вище описаному режимі охолодження, не змінюється. Проте при температурі вище 260 °С ступінь кристалічності починає збільшуватися, особливо швидко ступінь зростає при 310 – 315 °С (Таблиця 2.1).

Про відсутність пористості свідчить повна прозорість зразка під час спікання при 370–390 °С. Навіть незначна пористість викликає каламутність зразка. Пористість, що дорівнює приблизно 0,1–0,2 %, помітно впливає на точність визначення щільності.

Величини залежності питомого об'єму та щільності від температури для зразка, ступінь кристалічності якого 68,0 % (щільність повільно охолодженого виробу) наведені у таблиці 2.2.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1–Залежність щільності фторопласту-4 від степені кристалічності

Степінь кристалічності, %	Щільність за 23 °С, ·10 ³ , кг/м ³	Степінь кристалічності, %	Щільність за 23 °С, ·10 ³ , кг/м ³
40,0	2,12	69,4	2,22
46,5	2,14	75,3	2,24
53,0	2,16	80,7	2,25
56,3	2,17	82,6	2,26
59,7	2,18	85,3	2,27
63,2	2,19	89,0	2,28
66,5	2,20	–	–

Таблиця 2.2– Залежність питомого об'єму та щільності від температури для зразка фторопласту-4 зі ступенем кристалічності 68,0 %

Температура, °С	Питомий об'єм, 10 ⁻³ , м ³ /кг	Щільність, 10 ³ , кг/м ³	Температура, °С	Питомий об'єм, 10 ⁻³ , м ³ /кг	Щільність, 10 ³ , кг/м ³
-50	0,440	2,27	175	0,4769	2,10
-25	0,443	2,26	200	0,483	2,08
0	0,447	2,24	225	0,488	2,04
+25	0.453*	2,22	250	0,495	2,02
+50	0.456	2,19	275	0,504	1,99
+75	0.459	2,18	300	0,514	1,96
+100	0.464	2,16	325	0,535	1,88
+125	0.467	2,14	327	0,640**	1,58
+150	0.471	2,12	350	0,655	1,53

* При нагріванні від 19,60 до 22,0 °С видовження зразка збільшується на 0,742 %. ** При 327 °С видовження зразка збільшується на 20,0 %.

2.1 Фізико-механічні властивості фторопласту-4

Головні показники фізико-механічних властивостей фторопласту-4 приведені у таблиці 2.3.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні властивості фторопласту-4

Параметри	Числові значення
Руйнівне навантаження, МПа:	
– незагартований зразок (кристалічність 5–10 %)	14,0–35,0
– загартований зразок (кристалічність 50,0 %)	16,0–31,5
– при 1 % деформації	10,5
– при 10 % деформації	18,6
Опір згину, МПа	18,7
Відносне видовження при розриві, %	260–500
Залишкове видовження, %	260–350
Навантаження при 10 % видовження, МПа	11,0–13,0
Модуль пружності, МПа, при згинанні за 20 °С	480,0–850,0
Ударна вязкість, кДж/м ²	100 (не ламається)
Твердість за Брінелем, МПа	35–40

В залежності від того у якому напрямку вирізаний зразок: у поперек напрямку пресування будуть високі значення, вздовж напрямку пресування наблюдаємо малі значення. Результати залежності фізико-механічних властивостей фторопласту-4 від температури представлені у таблицях 2.4 та 2.5.

Таблиця 2.4 – Фізико-механічні властивості фторопласту-4 за низьких температур

Показники	Температура, °С					
	-95	-125	-155	-195	-225	-269
Руйнівне навантаження при стискуванні *, МПа	36,0	–	99,0	126,0	155,5	175,0– 197,0
Модуль пружності при стиску, МПа	–	5260,0	–	–	–	7000,0

* Руйнівне навантаження при стиску рівне напрузі, при якій деформація має значення 0,20 %.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 2.5 – Фізико-механічні властивості фторопласту-4 в залежності від температури

Показники	Температура, °С									
	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120
Руйнівне навантаження при розтягуванні, МПа : незагартований зразок	–	35,0	32,5	30,0	20,0	18,0	–	13,5	11,5	–
загартований зразок	–	500	440	330	250	240	–	200	190	–
Відносне видовження при розриві, % : незагартований зразок	–	70	100	150	470	650	–	600	540	–
загартований зразок	–	100	160	190	400	500	–	500	480	–
Модуль пружності, МПа, : при стиску										
незагартований зразок	1800	1700	1500	1100	700	450	330	240	170	–
загартований зразок	1320	1130	980	740	470	400	290	218	–	–

Залежність деформації фторопласту-4 при стисканні від температури наведена у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Залежність деформації фторопласту-4 при стисканні від температури

Деформація, %	Навантаження, яке спричиняє деформацію, МПа, за температур в градусах за Цельсієм						
	-50	0	25	50	100	150	200
1	20,5	15,8	6,3	4,9	3,2	1,76	1,2
2	30,6	21,0	9,4	6,7	3,9	2,8	2,0
3	35,1	23,5	10,6	7,8	4,9	3,4	2,8
4	37,5	25,1	12,1	8,6	5,8	3,8	3,2
5	39,1	26,3	12,8	9,3	6,3	4,5	3,6

Найважливішим показником міцності вважають межу плинності при розтягу, тобто це навантаження, при якому виникають залишкові деформації. Цей показник залежить від температури, степені кристалічності та швидкості розтягування.

Також при конструюванні деталей з фторопласту-4 необхідно враховувати повзучість. Повзучість – це деформація при довготривалій дії навантаження. Розраховується повзучість за такою формулою:

$$\lg \gamma_t = \lg \gamma_1 + \beta \cdot \lg t \quad (2.1)$$

де γ_t – деформація за t діб; γ_1 – деформація за 1 добу; β – коефіцієнт, що залежить у більшості від температури та менше від навантаження, якщо деформація не перевищує 40–50 % межі плинності.

Значення коефіцієнта та дані про повзучість зразків з ступенем кристалічності 50 % наведені у таблиці 2.7. Деформація за 1 добу (γ_1) при різних навантаженнях та температурах знаходиться експериментальним шляхом. При степені кристалічності 66,0–68,0 % повзучість буде менша.

Таблиця 2.7 – Повзучість фторопласту-4

Температура, °С	Навантаження, МПа	Деформація, %		Коефіцієнт β
		1 доба (γ_1)	4 доби (γ_4)	
Стискування		1 доба (γ_1)	4 доби (γ_4)	–
20	3,2	6,02	6,26	0,031
20	2,2	3,06	3,18	0,033
Розтяг		1 доба (γ_1)	4 доби (γ_4)	–
40	2,9	2,73	2,88	0,037
100	2,7	5,59	5,91	0,041
140	2,2	4,68	4,95	0,043
200	1,5	4,07	4,51	0,047
250	1,5	5,18	5,59	0,054

2.2 Антифрикційні властивості фторопласту-4

Розрахункові значення залежності коефіцієнта тертя від навантаження статичного та динамічного за малих швидкостей фторопласту-4 по сталі без змащування приведені у таблиці 2.8 .

Таблиця 2.8 – Залежність коефіцієнта тертя від навантаження (статичного та динамічного при малих швидкостях) фторопласту-4 по сталі без мастила

Навантаження, МПа	0,1	0,3	1,0	2,0
Коефіцієнт тертя	0,35	0,12	0,07	0,06

При наявності мастила коефіцієнт майже в 2 рази менший.

Динамічний коефіцієнт тертя фторопласту-4 без мастила по сталі при навантаженні приблизно 2,0 МПа суттєво залежить від швидкості ковзання (Таблиця 2.9).

Таблиця 2.9 – Залежність динамічного коефіцієнту тертя фторопласту-4 від швидкості ковзання

Швидкість ковзання, м/с	0,04	0,08	0,20	0,40	0,80	1,60
Динамічний коефіцієнт тертя	0,06	0,12	0,14	0,24	0,25	0,28

У фторопласту, котрий має наповнювач, при малих швидкостях ковзання коефіцієнт тертя трохи вищий, а при підвищенні швидкості ковзання – нижчий, ніж коефіцієнт тертя звичайного фторопласту-4 по сталі.

За температури 327 °С коефіцієнт тертя фторопласту-4 на поверхні сталі різко зростає у декілька разів, а це призводить до дуже швидкого зносу та руйнування підшипника.

2.3 Теплофізичні властивості фторопласту-4

Фторопласт-4 у вигляді порошку має степінь кристалічності 95,0–98,0 %, а після термообробки степінь кристалічності від 50,0 % у загартованого і до 68,0–70,0 % у незагартованого. Нижче температури 19,6 °С елементарна частинка кристалу фторопласту-4 складається з 13 груп CF_2 , а при температурі вище 19,6 °С – з 15 груп CF_2 . При температурі 19,6 °С триклінічна упаковка кристалу даного полімера переходить у менш впорядковану, гексагональну, яка набуває збільшення обсягу кристалітів на 0,0058 $см^3/г$, тобто 1,2 об'ємних %, або збільшенням обсягу зразка при степені кристалічності 68,0 % на 0,742 % . При зовнішньому тиску точка переходу знижується на 0,013 °С на кожну атмосферу. При температурі 30 °С відбувається другий перехід кристалічної структури, проте зміна обсягу буде лише 1/10 частини зміни обсягу при температурі 19,6 °С. Під тиском 450,0 МПа при температурі 70 °С відбувається третій перехід.

Температура склування ділянок аморфних, яка визначена за температурою крихкості, знаходиться у межах від -97 до -100 °С і по точці перегину кривої

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежності модуля пружності має значення -120 °С. Температура переходу твердого аморфного тіла у рідину переохолоджену становить 127 °С.

За температури 327 °С кристаліти фторопласту-4 плавляться. Він повністю переходить в аморфний стан, стає абсолютно прозорим при відсутності пористості, високоеластичним, проте не тече так як в'язкість його вище 1011 П. Крім того, обсяг зростає на $20,0$ %.

Сама точка плавлення цілком залежна від зовнішнього тиску, а саме: на кожна атмосферу підвищується на $0,155$ °С. При охолодженні розплаву нижче температури 327 °С зразок стає непрозорим – молочним. Чим більше час спікання, тим швидше кристалізується зразок. Швидкість кристалізації також залежить від температури, максимальна швидкість при температурі $310,0$ – $315,0$ °С. Також кристалізація залежить від тривалості витримки полімеру в розплавленому стані при температурі $370,0$ – $390,0$ °С та від молекулярної маси (при нижчій молекулярній масі швидше полімер кристалізується). На цьому твердженні заснований спосіб непрямої оцінки молекулярної маси фторопласту-4: у вигляді диску зразок товщиною 2 мм піддають термообробці при температурі 370 °С на протязі 13 годин, а потім охолоджують від температури 370 до 250 °С протягом 5 годин. За щільністю одержаного зразка при температурі 23 °С оцінюють молекулярну масу: $2,16$ – $2,19$ г/см³–для високомолекулярного полімеру та $2,20$ – $2,22$ г/см³–для низькомолекулярного.

У таблиці 2.10 наведено основні теплофізичні властивості фторопласту-4.

Термічний коефіцієнт лінійного розширення фторопласту-4 на пряму залежить від температури (Таблиця 2.11)

На практиці доцільніше користуватися середніми значеннями термічного коефіцієнта лінійного розширення для інтервалів температур. Потрібно також враховувати, що при нагріванні деталей з фторопласту-4 у них зазвичай виникають внутрішні напруження, а це викликає незворотню зміну розмірів. Бувають випадки, коли замість очікуваного видовження зразка під час нагріву він навпаки скорочується.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.10 – Теплофізичні властивості фторопласту-4

Теплостійкість за Віка (при навантаженні 5 кгс), °С	120
Питома теплоємність, кДж/(кг·К) за температур, °С:	
0	0,974
50	1,07
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	0,21

Таблиця 2.11 – Залежність коефіцієнта лінійного розширення фторопласту-4 від температури

Температура, °С	від -60 до -10	19,6	30	40	200	300
Термічний коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-5}$, 1/К	9	55	26	12	26	65

2.4 Композиційні матеріали на основі фторопласту-4

Суттєвий вплив на властивості політетрафторетилену (ПТФЕ) здійснюють розміри та форми частинок наповнювача, який вводиться. Основна вимога до наповнювача для політетрафторетилену – це здатність витримувати нагрів до температури 390 °С, при якій проходить спікання виробів з ПТФЕ. До наповнювачів пред'являються наступні вимоги:

- здатність контактувати з полімером, утворюючи системи заданого ступеня однорідності;
- стабільність властивостей у процесах переробки, а також при зберіганні та експлуатації політетрафторетилену;
- доступність та низька вартість наповнювачів. [9]

Як наповнювачі частіше всього використовують волокна графіту, порошки бронзи, дисульфиду молібдену, свинцю, кварцу. Наповнювачами для фторопластових композицій застосовують також коксову муку, оксид цирконію,

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

білу сажу, скляну муку, каолін, нітрид бору, діоксид титану, оксид алюмінію, тальк, фторид кальцію, сульфат барію, бентоніт та ін.. В залежності від природи наповнювача вміст його у полімерній композиції різний. Дуже важливо у кожному випадку правильно підібрати вид наповнювача і його кількість.

При низькому об'ємі вмісту наповнювачів (від 3 до 10 %) отримують полімерний матеріал з високою міцністю при розтягу та відносним подовженням, досить хорошим опором багаторазовому згину та низьким вмістом пор біля частинок наповнювача. Дані полімерні матеріали мають знижений опір зносу, проте значно вищий, ніж у чистого політетрафторетилену. Такі матеріали застосовують при виготовленні манжет з досить тонкою ущільнюючою стінкою.

При середньому об'ємі вмісту наповнювачів (від 10,0 до 20,0 %) одержують полімерні матеріали для невисоких навантажень та невеликих швидкостей ковзання механізмів, які працюють безперервно і які характеризуються високою зносостійкістю та швидко припрацьовуються. Дані матеріали використовують для ущільнень гідравлічних циліндрів підсилювачів рульового управління, а також гальмівних систем автомобілів.

При високому об'ємі вмісту наповнювачів (від 20,0 до 35,0 %) досягається найбільша зносостійкість, а також стійкість до деформації під навантаженням. Це має значення при роботі з великими навантаженнями та швидкостями ковзання за безперервної роботи. Дані полімерні матеріали застосовують у підшипниках, поршневих кільцях та ущільненнях, які працюють довгий період без зупинок, із збереженням допусків на розміри антифрикційних деталей.

Призначення та основні властивості найбільш поширених наповнювачів.

Вугілля-кокс є найбільш інертний наповнювач. Порошок цього наповнювача має мати розміри часточок від 20,0 до 50,0 мкм та насипну масу не менше 0,52 г/см³. Композиція, у складі якої 20,0 % коксу, у порівнянні з ненаповненим політетрафторетиленом має в 600,0 разів більшу зносостійкість та на третину більшу жорсткість. Застосовується така композиція для виготовлення ущільнень рухомих з'єднань та деталей антифрикційного призначення. Придатний цей

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полімер для роботи в умовах високого вакууму, а також у середовищі вуглеводневих газів, вуглеводнів рідких, сухого повітря, розчинників.

Скловолокно вважають хорошим наповнювачем, яке присутнє у багатьох наповнених фторопластових композиціях у різній кількості разом з іншими наповнювачами. Використовується волокно діаметром 5,0–7,0 мкм або більш товстіше – діаметром 10,0–12,0 мкм. Частіше всього нарізане на відрізки довжиною 15 діаметрів. У випадку наявності великої кількості коротких волокон довжиною 1–2 діаметра чи скляного пилу спостерігається різке падіння відносного видовження наповненого матеріалу та збільшення його зносу. Полімерні матеріали, котрі наповнені лише скловолокном, випускають двох типів: 15,0 % та 25,0 % скловолокна. Композиція з наповненням 15,0 % скловолокна використовується для виготовлення різних конструкційних вузлів, які здатні працювати в умовах постійних ударних навантажень. При введенні скловолокна у склад фторопластового полімеру підвищується зносостійкість його більш ніж в 250 разів та в 1,5 рази підвищується опір повзучості. Даний матеріал стійкий до агресивних середовищ, зазвичай добре працює у середовищі сухих агресивних газів.

Графіт у якості наповнювача застосовується самостійно або як добавка до іншого наповнювачу, частіше всього до скловолокна, а інколи до коксу у кількості до 5,0 %. Так як графіт не працює на тертя при повній відсутності вологи, його використовують як наповнювач для матеріалів, які експлуатуються у середовищі вологих газів і він є непридатним для роботи у вакуумі або в сухих газах. Полімерна композиція, у складі якої 80,0 % графіту та 20,0 % фторопласту-4, володіє значною твердістю, міцністю при стисканні, а також низьким коефіцієнтом розширення, який характеризує графіт, але низький вміст сполучних елементів приводить до високої крихкості. Такий полімер рекомендований для роботи у рідких середовищах таких, як антифриз, нафтопродукти, спирт, морська та прісна вода, різні водні розчини хімічних препаратів. Композиція фторопласт-4 – графіт є корозійностійкою, це дає можливість використовувати її при специфічних умовах експлуатації, наприклад, при виготовленні поршневих кілець компресора, який працює в режимі сухого тертя.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисульфід молібдену використовують як наповнювач добавку до скловолокна або коксу у невеликій кількості – 2,0–5,0 %, при цьому знижується знос композиційного матеріалу, а це дає змогу використовувати цей матеріал при абсолютній відсутності вологи, у глибокому вакуумі, в сухих газах. Відмічають, що коефіцієнт тертя у дисульфиду молібдену не менший коефіцієнту тертя фторопласту-4. Підвищення зносостійкості композиційного матеріалу з дисульфиду молібденом пояснюють тим, що він бере участь в створенні плівки фторопласту-4, яку наносять на контртіло, а це робить його міцнішим та зменшує знос. Композиційний полімер з додаванням 15,0 % коксу та 5,0 % дисульфиду молібдену характеризується зносостійкістю в 1000 разів вищою чистого фторопласту-4, а також більш низьким коефіцієнтом тертя. Слід відмітити, матеріал придатний для роботи у вузлах тертя в умовах вологих газів, в тому числі навіть при наявності конденсату. Рівномірний та плавний рух вузлів устаткування забезпечує рівність динамічного та статичного коефіцієнтів тертя.

Бронза у якості наповнювача застосовується самостійно або з іншим наповнювачем. Для політетрафторетилену, наповненого бронзою, характерною є висока зносостійкість при сухому терті, зате величина її практично залежить від температури. Бронзу використовують для роботи у воді, композиції на її основі доречні для виготовлення гідравлічних ущільнень.

Вуглецеві волокна мають низький коефіцієнт тертя, володіють високою міцністю та теплостійкістю, а також хімічною інертністю, теплопровідністю та провідністю електричною. При введенні у фторопласт-4 активованих волокон виявлено позитивний вплив на його властивості. Введення 5,0 % вуглецевого волокна збільшує зносостійкість полімерної композиції у 40 разів в порівнянні з вихідним фторопластом-4, а збільшення вмісту волокон до 10,0 % веде до ще більшого підвищення зносостійкості, аж в 100 разів. Композиції з вуглецевим волокном застосовують при виготовленні деталей в автомобілебудуванні [10]. Фізико-механічні характеристики антифрикційних матеріалів на основі фторопласту-4 наведені у таблиці 2.12 [6].

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Фізико-механічні характеристики антифрикційних матеріалів на основі фторопласту-4 [6].

Механічні показники	Марка композиційного матеріалу				
	Ф4ВВ20	Ф4К20	Ф4К15М5	АФГМ	АФГ-80ВС
Щільність, кг/м ³ ·10 ³	1,85	2,12–2,15	2,19	2,1	2,05–2,15
Міцність, МПа при розтягу при згині при стиску	25,5 31,5 35 (при деформації 10%)	12,3 11–14 21,3	13,2 - 18,8	- 10–15 15,0	- - 11,0
Відносне видовження, %	10	100	110	100–150	-
Твердість за Брінелем, МПа	-	40–50	60,0	60,0	40,0
Модуль пружності при стиску, МПа	1350 (при згині)	620 (при розтягу)	-	700–1000	600–900

Порівняння за антифрикційними властивостями матеріалу Ф4ВВ20 з іноземними полімерними композитами наведені у таблиці 2.13 [6].

Таблиця 2.13 – Антифрикційні властивості композитів на основі фторопласту-4*

Назва матеріалу	Інтенсивність лінійного зносу, ×10 ⁻¹⁰	Коефіцієнт тертя	Середнє арифметичне відхилення профілю поверхні металу, мкм	
			до тертя	після тертя
Ф4К20 (пресований)	9,0	0,35	0,21	0,06
«Гарлок» (США)	13,2	0,267	0,24	0,24
«Меркель» (Німеччина)	18,0	0,268	0,21	0,85
«Іельнардт»	14,0	0,293	0,22	0,23
Ф4К20 (екструзійний)	13,2	0,301	0,20	0,30
Ф4ВВ20	6,8	0,297	0,20	0,12

*Умови випробувань: питоме навантаження 3 МПа, швидкість ковзання 1,1 м/с, шлях тертя 50 км, температура поверхні тертя 373 К, контртіло – сталь 45 (НВ=4520 МПа), радіус тертя зразків 0,016 м, коефіцієнт взаємного перекриття зразків 0,19, середнє арифметичне відхилення профілю поверхні композиційного матеріалу 1,2 мкм.

Аналізуючи таблиці 2.12 та 2.13, видно усі переваги карбопластика Ф4ВВ20 над іншими фторопластовими композиційними матеріалами. Тому, вважаємо доцільним рекомендувати його для застосування при виготовленні втулки рейки рульового керування легкового автомобіля.

2.5 Постановка задачі на відновлення та підвищення зносостійкості

Мета роботи полягала в тому, щоб, виходячи з аналізу умов роботи та властивостей антифрикційних матеріалів на основі фторопласту-4 розробити технологічний процес виготовлення втулки рейки рульового керування легкового автомобіля.

Об'єкт дослідження: втулка рейки рульового керування легкового автомобіля.

Предметом досліджень є технологія виготовлення втулки рейки рульового керування з карбопластика Ф4ВВ20.

Основні завдання дослідження:

1. Дослідити умови роботи пари тертя втулка–вал рейки рульового керування автомобіля. Опанувати технологію технічного обслуговування та поточного ремонту агрегату та вузла тертя.

2. Виконати аналіз властивостей антифрикційних фторопластових матеріалів для втулок рейки рульового керування автомобіля.

3. Розробити технологічний процес виготовлення лабораторних зразків та втулки рейки рульового керування автомобіля з фторопластового карбопластика Ф4ВВ20.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Виконати дослідження зносостійкості, міцності на розтяг антифрикційних матеріалів Ф4ВВ20 для втулок рейки рульового керування автомобіля з метою контролю оцінки їх якості.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						30
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВТУЛКИ РЕЙКИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З МАТЕРІАЛУ Ф4ВВ20

Процес технології виготовлення втулки рейки рульового керування з матеріалу Ф4ВВ20 для легкового автомобіля передбачає наступні операції приведені на рисунку 3.1.

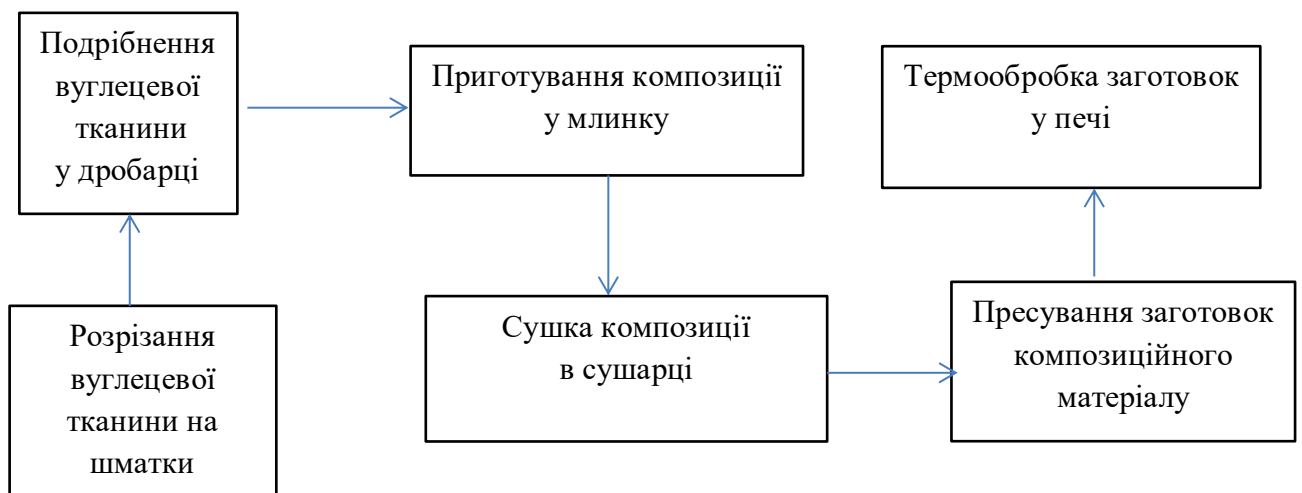


Рисунок 3.1 – Технологічна схема виготовлення втулки рейки рульового керування з композиційного матеріалу Ф4ВВ20

За допомогою гільйотини відбувається розрізання вуглецевої тканини Текарм на шматки. А грубе подрібнення цієї ж тканини здійснюється у дробарці. Далі виконується змішування та подрібнення порошку фторопласту-4 разом з наповнювачем вуглецевим волокном у млинку “Ютон”. Наступний етап передбачає сушку композиції у сушильній камері.

Пресування заготовок проходить за допомогою гідропреса та має такі стадії:

- дозування композиції;
- завантаження композиції в пресувальну форму;
- опускання повзуна пресу та закриття пресувальної форми;
- підпресовування;

- видержування під високим тиском;
- розпресування, зняття виробу та очищення пресувальної форми.

Термообробка або спікання заготовок виконується у термопечі.

Завершальна стадія – це виконання експериментальних досліджень з ціллю оцінки якості матеріалу.

3.1 Підготовка матеріалу

Звичайні марки Фторопласту-4 мають схильність до електризації та грудкування через низьку сипучість, що може ускладнювати його використання в деяких технологічних процесах.

Сипучі марки, такі як Ф-4А та Ф-4А2 були спеціально розроблені для подолання цих проблем. Вони характеризуються більшою сипучістю, що робить їх більш зручними для обробки та зберігання, зменшуючи електростатичну зарядку та грудкування. Це дозволяє використовувати їх у процесах, де важлива однорідність матеріалу та легкість транспортування або дозування.

На стадію пресування порошок подається у мішках з поліетилену або у твердій тарі.

В процесі зберігання та транспортування порошок фторопласту-4 комкується в грудкувату масу, яку перед тим, як пресувати потрібно обов'язково розпушити для руйнації грудочок та забезпечення рівномірної засипки порошку у пресувальну форму. Операцію розпушування проводять на апаратах відцентрових сил або на спеціальних млинках для розпушування, при частоті обертання ротора 3000 об/хв.

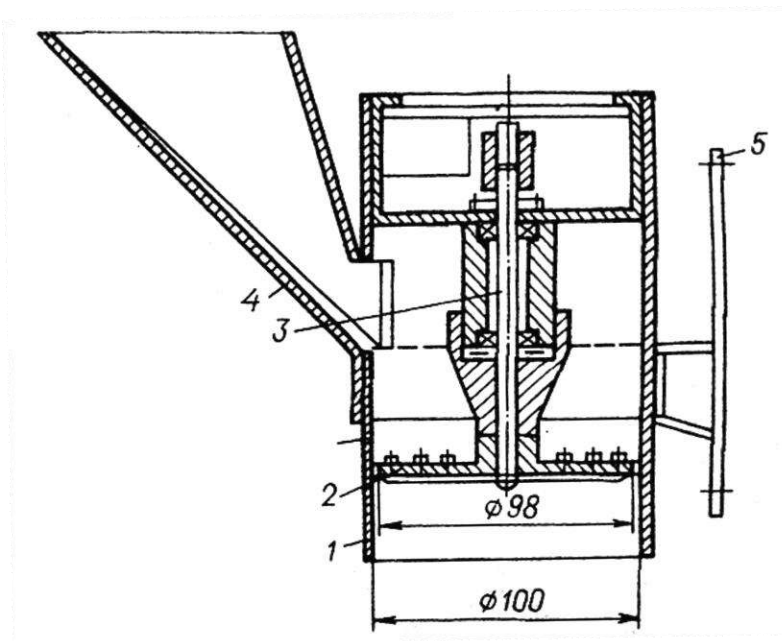
Млинок для розпушування – це циліндричний корпус 1 діаметром 100,0 мм, у верхній частині якого розміщений бункер 4 для завантаження грудкованого порошку (рисунок 3.2). В середині корпусу на валу 3 закріплений диск-розрихлювач 2 з шипами, який отримує обертовий рух від електродвигуна. Розрихлювач закріплений на кронштейні 5 і виготовлений із нержавіючої сталі.

Порошок композиції засипається на диск розрихлювача невеликими порціями та під дією відцентрової сили прибивається у зазор між диском та

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стілкою корпусу у приймальну тару.

Фторопласт-4 є гідрофобний полімерний матеріал, проте у процесі транспортування за низьких температур та при внесенні у приміщення з плюсовою температурою на поверхні частинок порошку конденсується волога, яка може бути на поверхні мішку або в самому цеху. Наявність вологи на частинках порошку зазвичай є причиною розтріскування заготовок при термообробці. Тому порошок полімерного матеріалу перед його пресуванням має термостатуватись за температури не нижче 21 °С на протязі не менше 24 годин.



1 – корпус; 2 – диск-розрихлювач; 3 – вал; 4 – бункер; 5 – кронштейн

Рисунок 3.2 – Млинок для подрібнення грудочок фторопласту-4

Порошок фторопласту-4 у процесі пересипання та розпушування досить легко електризується, притягує до себе пил приміщення, а це негативно відбивається на якості виробів, особливо електроізоляційних плівок. В зв'язку з цим велике значення має чистота цеху, де проходить підготовка порошку.

Вуглецева тканина «Текарм», що застосовується для виробництва матеріалу Ф4ВВ20, розрізається на шматки гільйотиною.

Подрібнення на дробарці композиційного матеріалу відбувається наступним чином. Композиція зважується на технічних терезах та засипається у камеру

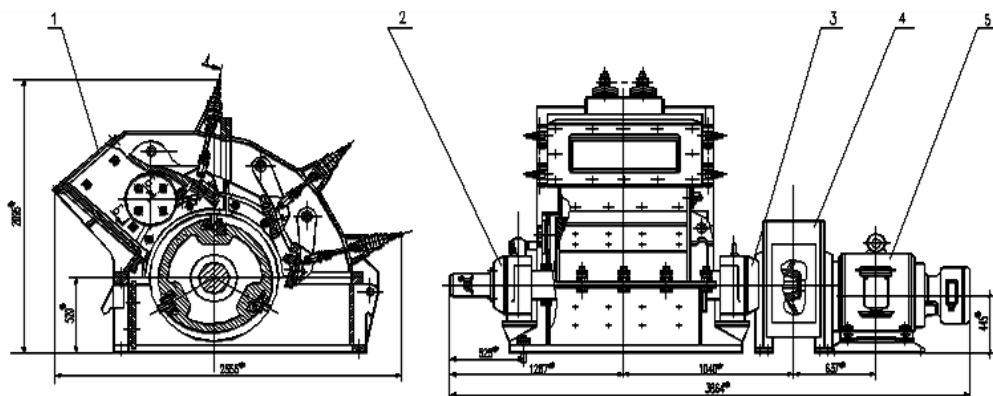
					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

помелу. Закривається кришка. Провертаючи маховик на кришці, притискається кільце-герметизатор до корпусу камери. Далі розташовуємо камера помелу на колонку приводу таким чином, щоб квадрат валу попав у зачеплення з муфтою приводу, а у розрізи колонки приводу ввійшли штифти нижнього циліндра. Необхідно камеру помелу повернути до упору штифтів у горизонтальних розрізах. Далі, повертаючи ручку реле часу, виставляємо необхідний час помелу і включаємо апарат в роботу. Загальний час помелу 10,0–12,0 хв. Щоб запобігти перегріву заготовки, після 12,0 хвилин роботи млинка необхідна пауза для охолодження протягом 10,0 хвилин. Готову суміш зсипають у закриту ємність для зберігання.

Подрібнювач дробарки має основні такі складові: корпус, привід, пульт управління та камера помелу. Корпус виготовлений з алюмінієвого сплаву та має призначення для кріплення всіх вузлів та деталей подрібнення. Корпус розташований на чотирьох гумових ніжках.

Привід дробарки – це електродвигун, закріплений болтами на спеціальному ексцентриковому пристрої, що має обертовий рух, а також муфта, яка посаджена на вал двигуна, редуктор та муфта для передачі крутного моменту на дробарку (рисунок 3.3).

Композицію сушать при температурі $150,0 \pm 10,0$ °C на протязі 4-8 годин. Коли сипучість незадовільна, сушку виконують повторно. Проміжок часу між сушкою та пресуванням не має перевищувати 2 години.



1 – дробарка; 2, 3 – муфти; 4 – редуктор; 5 – електродвигун

Рисунок 3.3 – Дробарка

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3.2 Устаткування й оснащення та технологія пресування заготовок

Зазвичай, для одержання заготовок з фторопласту-4 застосовують гідравлічні преси, а в окремих випадках – пневматичні. В залежності від розміру пресованої заготовки, площі та висоти її, зусилля пресування гідравлічного пресу може бути у межах від 0,630 до 6,30 МН.

Зусилля пресування F визначається за формулою:

$$F = P \cdot S, \quad (3.1)$$

де P – тиск пресування, МПа; S – площа пресування, m^2 .

Манометричний тиск p_m робочої рідини у гідроциліндрі пресу розраховується наступним чином:

$$p_m = \frac{F \cdot \eta}{S_n}, \quad (3.2)$$

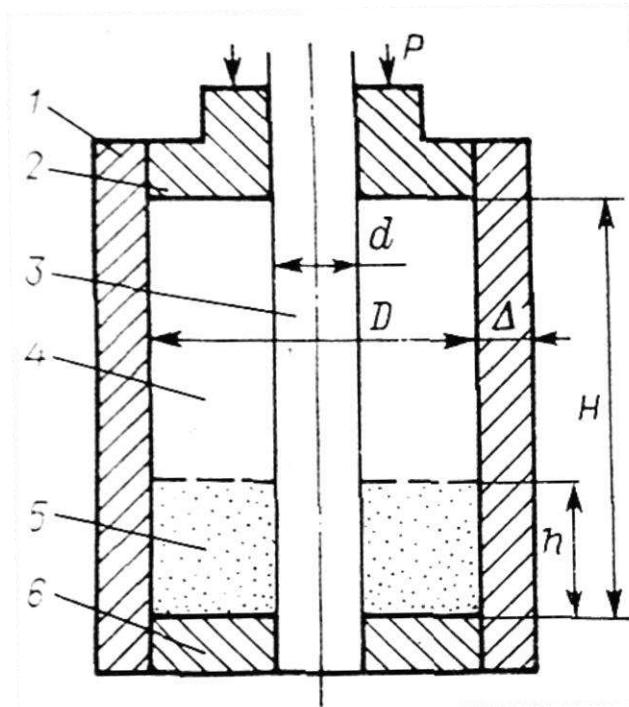
де S_n – площа плунжера, m^2 ; η – коефіцієнт корисної дії пресу, який враховує втрати тиску у гідросистемі гідроциліндра.

Головна умова одержання якісної заготовки без тріщин – це досягнення плавного ходу пресуючого плунжера та виштовхувала, щоб були відсутні поштовхи та ривки. Засипають порошок полімерний у пресувальну форму вручну.

Пресувальна форма зображена на рисунку 3.4 і складається з матриці, нижнього та верхнього пуансонів. Для виготовлення заготовки втулки пресувальна форма забезпечується центральним стержнем. Деталі пресувальної форми виготовлені з конструкційних марок сталей типу 45, 40Х, 2Х13, 3Х13, У8, У10 з наступною термообробкою у вигляді гартування та нормалізації до $HRC = 47-53$. Поверхні деталей пресувальної форми звичайно дотичні з полімерним порошком фторопласту-4 та композиціями на його основі і для попередження корозії обов'язково повинні бути хромовані. Щоб досягти чистоти поверхні деталей пресувальної форми, її полірують до 0,17–0,33 мкм з ціллю зменшення втрати

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тиску при терті під час пресування. Точність виготовлення деталей пресувальної форми визначається оптимальними умовами втрати повітря з порошку при пресуванні заготовки та зменшення кількості утворення облою.



1 – матриця; 2, 6 – нижній та верхній пуансони, 3 – стержень; 4 – полімерний порошок; 5 – спресована заготовка

Рисунок 3.4 – Схема компресійного пресування заготовки

Оптимальні конструктивні розміри пресувальної форм розраховують за формулами.

Висота матриці пресувальної форми:

$$H = h_1 + h_2 + KN_T \quad (3.3)$$

де h_1 – висота нижнього нерухомого пуансона (15,0–20,0 мм); h_2 – висота рухомого верхнього пуансона (25,0–30,0 мм); K – коефіцієнт пресування порошку;

N_T – висота отриманої заготовки, мм.

Внутрішній діаметр пресувальної форми $D_{\text{п}}$ та діаметр стержня D_c

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

розраховують з врахуванням коефіцієнта зсідання K_y полімерного матеріалу:

$$D_{\Pi} = D_{\text{зоб.т.}} (1 + K_y), \quad (3.4)$$

$$D_c = D_{\text{вн.т.}} (1 - K_y). \quad (3.5)$$

Товщина стінки Δ пресувальної форми підраховується за формулою:

$$\Delta = D_{\text{т.}} \cdot P_{\text{пр}} / 2\sigma, \quad (3.6)$$

де $D_{\text{т.}}$ – діаметр пресованої заготовки, см; $P_{\text{пр}}$ – тиск пресування для даної марки порошку фторопласту, МПа; σ – допустима міцність матеріалу пресувальної форми, МПа.

Існує друга формула для визначення товщини стінки матриці пресувальної форми, яка дає занижене значення товщини та може служити для перевірки:

$$\Delta = \frac{D}{2} \left(\frac{\sigma + P_{\text{пр}}}{\sigma - 1} - 1 \right). \quad (3.7)$$

В залежності від асортименту деталей та виробів, їх серійності пресувальні форми по конструкції поділяють на стаціонарні та з'ємні. З'ємні пресувальні форми придатні для виготовлення виробів невеликих розмірів при невеликій серійності. Щоб виготовляти заготовки великих розмірів застосовуються стаціонарні пресувальні форми із системою виштовхування. У випадку великої серійності дрібних заготовок можливе застосування стаціонарних багатогніздових пресувальних форм. Заготовки з однаковою щільністю та висотою більше 100 мм одержують у пресувальних формах з так званою плаваючою матрицею, яка дає можливість виконати двостороннє пресування на тих же одноходових пресах.

Конструкція втулки рейки рульового управління автомобіля зображена на рисунку 3.5.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

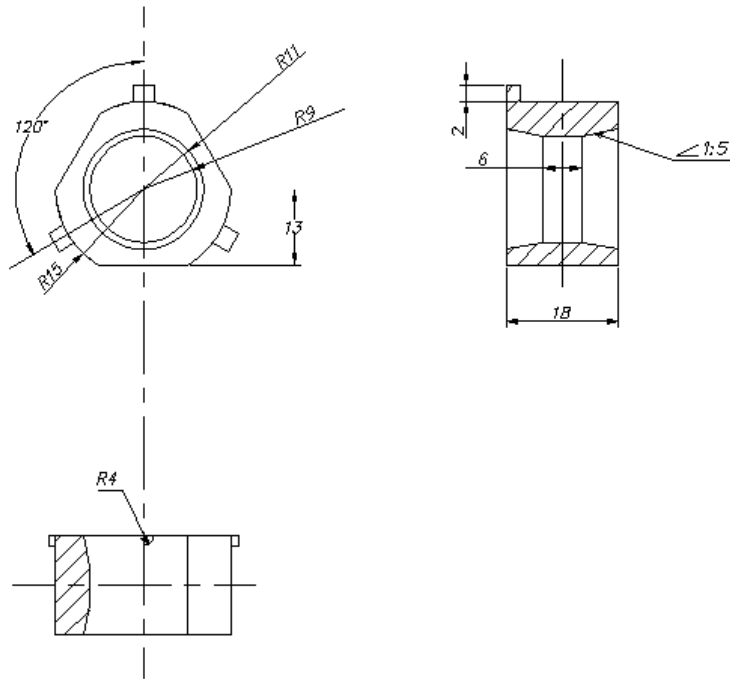


Рисунок 3.5 – Втулка рейка з матеріалу Ф4ВВ20

3.2.1 Розрахунок маси наважки

Для розрахунку маси наважки необхідно насамперед визначити об'єм деталі.

Об'єм деталі визначаємо за формулою у мм³:

$$V_{заг} = V_1 + 3V_2 - 2V_3 - V_4 - 3V_5, \quad (3.8)$$

$$V_1 = \pi R^2 H = 3,14 * 15^2 * 18 = 12717$$

де V_1 – об'єм циліндра;

$$V_2 = \frac{\pi R^2 H}{2} = \frac{3,14 * 4^2 * 2}{2} = 50,24,$$

де V_2 – об'єм півциліндра;

$$V_3 = \frac{\pi h}{3} (R^2 + R_r + r^2) = \frac{3,14 * 6 * 2}{3} (121 + 110 + 100) = 2078,68$$

де V_3 – об'єм зрізаного конуса;

$$V_4 = \pi r^2 H = 3,14 * 100 * 6 = 1884$$

де V_4 – об'єм циліндра;

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$V_5 = \Pi h^2 \left(R - \frac{1}{3} h \right) = 3,14 * 12 \left(15 - \frac{1}{3} * 2 \right) = 180,026$$

де V_5 об'єм сегменту;

За формулою (3.8) розраховуємо загальний об'єм втулки в мм³:

$$V_{заг} = 12717 + 3 * 50,24 - 2 * 2078,68 - 1884 - 3 * 180,026 = 62,86$$

Тоді масу наважки визначають за формулою:

$$m = \rho * V_{заг}, \quad (3.9)$$

де $\rho = 2,1$ г/см³ – густина матеріалу, $V_{заг}$ – об'єм деталі;

$$m = 2,1 * 6,29 = 13,21 \text{ гр.}$$

3.2.2 Технологія та режими пресування заготовок

Пресувальні форми та усе обладнання перед пресуванням заготовок з фторопластового композиційного матеріалу усіх модифікацій мають бути уважно протерті м'якою бавовняною тканиною, попередньо змоченою технічним етиловим спиртом.

Для отримання чистої поверхні втулок пресувальну форму бажано періодично через 5–10 пресувань виконувати повторне протирання змоченою в етиловому спирті ганчіркою.

Полімерний порошок вільно засипається у пресувальну форму, потім уважно вирівнюється по поверхні тупим предметом, щоб досягнути рівномірної щільності. Вирівнюється по поверхні наважка порошку лінійкою з полістиролу, органічного скла або металу. У випадку, коли об'єм пресувальної форми не дає можливості зробити вільну засипку за один раз, допускається вільне засипання у кілька прийомів з обов'язковим розрівнюванням кожного. Одержання заготовки методом засипки полімерного порошку у декілька прийомів з підпресуванням заготовки після кожного засипання не допускається.

Пресування заготовок виконується при питомому тиску 60,0–75,0 МПа. Величину тиску пресування підбирають максимально можливим для конкретної площі заготовки та можливого зусилля повзуна, проте не вище 75,0 МПа.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб краще видалити повітря та запобігти розтріскуванню заготовок, тиск потрібно підвищувати та знижувати плавно. Інколи, допускається ступінчате підвищення тиску з необхідними зупинками пуансона. В даному випадку, час пресування за даного тиску пресування має бути не більше 1 хвилини на 30 мм висоти заготовки.

Усі розрахунки на кожен тип та розмір заготовки записуються у технологічну карту пресування, яка містить:

- назву виробу;
- розміри виробу;
- марку композиції;
- площу пресування втулки;
- зусилля пресу;
- манометричний тиск;
- величину наважки композиції;
- час видержування під тиском.

Після закінчення часу витримки тиск знімається, пресувальна форма розбирається, виймається заготовка з форми. Обовязково заготовку ретельно перевіряють на наявність дефектів, а після зачищення облоя розміщають на столі та маркують. Далі п'ять заготовок перевіряють штангенциркулем на відповідність геометричним розмірам, і після відпрацювання режиму пресуванню піддається вся партія.

Відомий метод компресійного пресування досить широко використовується для одержання заготовок простих форм у вигляді стержнів, втулок, плит, дисків, які застосовуються далі для отримання з них деталей механічною обробкою.

Пресування заготовок складної форми, таких як з різною висотою окремих частин, таких як втулки з виступами, склянки з суцільним або з наскрізним дном, базується на поділі наважок полімерного порошку по площинах, нормальним напрямку пресування, а також на використанні декількох пресуючих пуансонів. У цьому випадку, потрібно підраховати масу полімерного порошку кожної наважки. Спочатку завантажують першу наважку, вирівнюють поверхневий шар порошку

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та вводять один з пуансонів, а потім засипають наступну наважку порошку, знову вирівнюють поверхневий шар та вставляють наступний пуансон. Далі пресувальну форму поміщають на прес та обидва пуансони запресовують одночасно. Цей метод вимагає використання складних пресувальних форм та деяких ручних операцій, а це звичайно знижує продуктивність пресування.

Теоретичні основи та практичні рекомендації, розроблені в ході тривалого застосування методу компресійного пресування виробів, стали базою для всіх подальших методів отримання втулок з порошку фторопласту-4.

3.3 Термічна обробка заготовок

Кінцевою стадією одержання заготовок, напівфабрикатів та неспечених виробів з полімерного матеріалу фторопласт-4 та композиційного матеріалу на його основі Ф4ВВ20 незалежно від методу формування цих виробів є термічна обробка. У переважній більшості випадків може бути вільне спікання, тобто спікання у термічних печах, витягнутих із пресувальних форм заготовок. Даний процес включає поступове нагрівання виробу вище температури плавлення кристалів до 342,0 °С, а потім також поступове подальше охолодження у печі до 90,0–120,0 °С. Цикли термообробки мають різну тривалість, це залежить від марки полімерного матеріалу, розмірів виробу, максимальних пікових температур, а також від швидкості нагріву та охолодження.

Під час термообробки у заготовках послідовно проходять наступні процеси, які приводять до зміни їх об'єму:

- термічне розширення матеріалу, що проходить майже протягом всього циклу нагрівання до температури $380,0 \pm 10,0$ °С;
- перехід кристалічної фази полімера фторопласту-4 у аморфну фазу, що супроводжується збільшенням об'єму заготовки на 25,0 % за температури вище 327,0 °С, перехід закінчується з появою прозорості заготовки;
- термічна релаксація високоеластичних напружень, одержаних у процесі пресування до температури 340,0 °С;

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

– з'єднання окремих частинок полімерного матеріалу у суцільний моноліт, проходить з видаленням пустот між частинками та наступним сплавленням частинок між собою, що веде до зменшення об'єму заготовки.

В основі процесу злипання частинок полімера між собою при термічній обробці лежить дифузійно-сегментаційний механізм, реалізація його потребує певного часового інтервалу. При переході полімера з кристалічної фази в аморфну – плавлення кристалів при температурі 340,0 °С – починається злипання частинок. Однак сегментаційна рухливість молекул при вказаній температурі ще недостатня для початку дифузії сегментів, тому необхідно деякий підйом температури на 30,0-40,0 °С вище температури плавлення кристалів. Таким чином, процес злипання частинок здійснюється в певному часовому інтервалі, що потребує витримки полімера при максимальних температурах, забезпечуючи найбільшу рухомість сегментів в макромолекулах. Чим більша маса виробу, тим більш тривалим повинен бути часовий інтервал. Для фторопластів з малим розміром частинок час витримки і максимальна температура можуть бути дещо менше і нижче, чим для таблеток, виготовлених із фторопластів з більшими розмірами частинок.

У процесі термообробки заготовок на етапі сплавлення частинок полімеру формуються механічні, хімічні, фізичні та електричні властивості майбутньої деталі, тому термообробка є одним з найвагоміших етапів технологічного процесу виготовлення виробу.

Після витримки заготовки при максимальній температурі на етапі її охолодження утворюється надмолекулярна структура полімера, яка теж має достатньо великий вплив на властивості майбутньої деталі чи виробу. При охолодженні заготовки нижче температури 327,0 °С у полімерному матеріалі відбувається утворення кристалітів. Максимальна швидкість кристалізації спостерігається при температурі 310,0 °С. При цій температурі розташовані хаотично у розплаві полімерні ланцюги отримують зовсім нову, більш впорядковану структуру, а степінь упорядкування макромолекул залежить від охолодження заготовки. При повільному охолодженні, або витримці при температурі кристалізації досягається одержання виробу з максимальною степінню

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кристалічності. Швидке охолодження заготовки приводить до більш аморфної структури полімерного матеріалу. В залежності від режимів охолодження степінь кристалічності може мінятись від 45,0 до 85,0 %.

В зв'язку з низькою теплопровідністю фторопластових матеріалів швидкості охолодження мають бути досить низькими, приблизно від 8,0 до 14,0 °С за годину. Це дуже важливо для габаритних деталей, оскільки перевищення таких швидкостей у інтервалі температур до 290,0 °С викликає термічні напруження у об'ємі полімерного матеріалу. Підвищити швидкість охолодження до 50,0 °С за годину допускається тоді, як температура у середніх шарах заготовки досягне значень нижчих температури кристалізації, тобто нижче 290,0 °С.

Піч для термообробки по методу підведення теплоти поділяються на три види: електропечі опору, індукційні та газові.

Існують характерні особливості печей для термообробки фторопластових полімерних заготовок:

- внутрішня частина корпусу печі, піддон та кришка мають бути виготовлені із нержавіючої сталі, оскільки в процесі термообробки полімера можливі виділення агресивних газових продуктів деструкції, які здатні викликати корозію чорних металів;

- точність підтримки та регулювання температури по всьому об'єму термпечі не менше $\pm 5,0$ °С, що можливе за рахунок встановлення вентиляторів, які змішують повітря у середині печі;

- піддон термпечі, на який встановлюють деталі що спікаються, має бути перфорованим та виконувати обертовий рух для отримання температурних умов однакових по всьому об'єму термпечі для якісної термообробки кожного виробу;

- з ціллю зменшення втрат теплоти у атмосферу цеху теплоізоляція термпечі виконується скловолокном або керамічними блоками;

- над дверями термпечі розташовані місцеві відсмоктувачі, які вмикаються при відкритті дверей;

- для підтримки необхідного режиму термообробки термпіч обладнана системою автоматичного регулювання температури;

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

– при досягненні температури в тернопечі 400,0 °С відбувається автоматичне – відключення, вмикаються вентилятори, звукова та світлова сигналізація.

Для термообробки фторопластових заготовок застосовують електропіч типу А-114 із завантаженням до 250 кг.

Механічна обробка.

Понад 50,0 відсотків виробів з полімерного матеріалу фторопласт-4 виробляються у вигляді заготовок, з яких далі механічною обробкою одержують необхідні деталі. Заготовки з фторопласту-4 та композицій на його основі досить легко обробляються способами механічної обробки на металорізальних токарних, фрезерних, свердлильних верстатах, а також на стругальних та вирубних пресах.

Порівнюючи з обробкою металів, обробка полімерного матеріалу фторопласту-4 та композиційних матеріалів на його основі має ряд особливостей, які пов'язані з фізико-механічними властивостями полімеру і які передбачають технологічні режими обробки та геометрію різального інструменту, а саме:

- низьку теплопровідність полімерного матеріалу фторопласту-4, на два значення нижче, а ніж у конструкційних сталей;
- великий коефіцієнт лінійного розширення: у десять разів перевищує коефіцієнт конструкційних сталей;
- наявність переходу однієї кристалічної модифікації у іншу за температури 19,60 °С та пов'язана з цим зміна об'єму заготовки на 1,50 %;
- в процесі різання у виробках проявляються пружні та пластичні деформації, які набагато вищі ніж у сталей;
- значно нижча поверхнева твердість, ніж у сталей.

Основний вплив на режими механічної обробки має низька теплопровідність полімерного матеріалу, яка не дає можливості розсіювати теплоту у об'ємі полімеру та служить причиною нагрівання інструмента і деталі, що обробляється. Високий коефіцієнт лінійного розширення полімерного матеріалу в даному випадку змінює лінійні розміри виробу та негативно відображається на точності його виготовлення.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім того, перегрів полімеру вище температури 250,0 °С приводить до термічної деструкції матеріалу, в результаті можливе виділення токсичних продуктів. Практичним методом встановлено, що швидкість різання не має перевищувати 150,0 м на хвилину. У випадку підвищення швидкості різання потрібно використовувати охолодження оброблюваної деталі та відсмоктувати продукти деструкції. Токарна обробка полімерного матеріалу передбачає подачу різця від 0,015 до 2,55 мм · хв⁻¹. При дотриманні нормативних режимів різання у звичайних умовах є можливість отримати точність механічної обробки ± 0,025 мм. При обробці на прецизійному обладнанні точність обробки ± 0,015 мм. Проте, при виготовленні особливо точних деталей потрібно враховувати, що за температури 19,60 °С у момент переходу триклинної кристалічної модифікації полімеру у гексагональну проходить збільшення об'єму полімерного матеріалу на 1,50 %. Тому бажано процеси обробки, виміри та складування деталей потрібно виконувати при температурах вище 20,0 °С.

Усі виміри виготовленої деталі потрібно виконувати при кімнатній температурі та вище 20,0 °С, щоб вимірювані розміри відповідали креслярським. Результати вимірів будуть точніші, якщо вимірювальні прилади не будуть створювати підвищеного тиску на саму деталь. Мікрометр у руках недосвідченого контролера може зменшити показник на 0,07–0,13 мм нижче фактичних із-за підвищеного тиску на деталь. Для уникнення таких похибок використовують оптичні методи вимірювання.

3.4 Проведення експериментальних дослідів для контролю якості матеріалу втулки рейки рульового керування

Перевірку заготовок з полімерного композиційного матеріалу Ф4ВВ20 виконують партіями. Партія – це та кількість заготовок, що виготовлені з композиційного матеріалу одного типу та мають один супроводжуючий документ про якість. Для перевірки партії заготовок по показникам руйнування при розтягу використовують 5 заготовок, які оброблені механічним способом. Експеримент

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

виконують 3 рази.

При одержанні незадовільних результатів перевірки хоча б по одному з показників, проводять повторні дослідження на слідуєчих 3 зразках.

3.4.1 Методика та дослідження на розтяг розроблених композиційних матеріалів

При підготовці до досліджень на розтяг по три зразки кожного матеріалу видержували 16 годин за температури $23,0 \pm 2,0$ °C та відносній вологості $50,0 \pm 5$ %. Проводили вимірювання кожного зразка в чотирьох місцях з допустимою похибкою 0,015 мм по ширині, висоті та діаметру. Щоб визначити поперечний переріз зразків, застосовували найменші числові значення. Далі розміщали зразки між опорними площадками так, щоби вісь зразка вертикальна співпадала з напрямком навантаження.

Для виконання випробувань на розтяг полімерних композиційних матеріалів у формі кілець можна застосовувати розривну машину МР-05-1, при швидкості переміщення зразка 15,0 мм/хв.

Універсальні електромеханічні випробувальні машини UTM-8100.SMD2, 100 кН та UTM-8300, з зусиллям 300 кН це автоматичні електромеханічні універсальні випробувальні машини UTEST вони є багатоцільовими універсальними машинами, які застосовують у науково-дослідних лабораторіях, лабораторіях університетів та лабораторіях по контролю якості для дослідження на розтяг, стиснення, вигин та контроль навантаження для досить різних матеріалів (рисунок 3.6).

Універсальні електромеханічні випробувальні машини моделі UTM 8100 та UTM-8300 застосовують для досліджень на розтяг таких матеріалів, як метал, пластик, текстиль, дерево, використовуючи відповідні аксесуари. Допускається використання цих машин також для загальних випробувань на стиск та вигин сталі, бетону, цементу, ґрунту, каменю та подібних матеріалів з відповідними аксесуарами.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випробувальна машина має основу, яка містить компоненти передачі та дві міцні колони, які з'єднані поперечною верхньою головкою. Крім того, має цифрову графічну систему збору та керування даними. Верхня поперечна головка регулюється, щоб розташувати вертикальний простір для різних тестів.



Рисунок 3.6 – Універсальна електромеханічна випробувальна машина моделі UTM-8100.SMD2, 100 кН

Оператор має можливість регулювати вертикальний тестовий простір і за допомогою нижньої траверси, яка переміщується механічною системою з одним рециркуляційним гвинтом, який вводиться в дію сервомотором.

При використанні вдосконаленої системи регулювання замкнутим циклом забезпечується досить точне навантаження та швидкість переміщення зразка.

Вимірюється навантаження тензодатчиком, який розміщений на верхній траверсі, а переміщення фіксується датчиком, що встановлений на серводвигуні.

Працівник має велику гнучкість при дослідженнях завдяки програмному

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпеченню та мікропроцесорному контролю для тестування матеріалів, встановленому на комп'ютері.

UTM-8100 монтоване компресійними плитами та тензодатчиками потужністю 50 кН. UTM-8300 теж з компресійними плитами і датчиками навантаження, потужність яких до 300 кН.

Границя міцності на розтяг визначається за формулою 3.10. Вона не є повною характеристикою полімерного композиційного матеріалу, так як на ділянках роз'єму напівдисків кільця появляються деформації згину та розтягу.

Досить часто, величина цих деформацій в основному залежить від відношення товщини стінки до діаметра кільця. Якщо більше співвідношення та різниця властивостей полімерного композиційного матеріалу, то відповідно більше проявляється вплив згину. Ось чому кільцеві зразки полімерних матеріалів рекомендуються для досліджень порівняльних. У цих зразках деформації згину впливають більше, а це дозволяє значно краще оцінити різницю властивостях між різними матеріалами. Тому дослідження міцності на розтяг композиційних матеріалів проводили при навантажених жорстких напівдисках, на які одіте досліджуване кільце (рисунок 3.7).

Границю міцності на розтяг σ_p , МПа розраховуємо за формулою:

$$\sigma_p = \frac{P}{2h(R-r)}, \quad (3.10)$$

де P – розривне зусилля, Н;

h – висота зразка, мм;

R – зовнішній радіус, мм; r – внутрішній радіус, мм

Середнє значення границі міцності:

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (3.11)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – границя міцності на розтяг дослідних зразків.

Для механічних досліджень на розтяг застосовували зразки різних форм:

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плоскі, трубчасті, кільцеві. Недолік головний плоских зразків – труднощі кріплення у захватах розривної машини, може бути проковзування, так як невелика довжина та ширина зразків. Щоб уникнути цих недоліків, до зразка полімерного композиційного матеріалу приварюють чи приклеюють накладки, які менш пластичні та з матеріалу більшої жорсткості.

Часто буває так, що результати одержані для плоских та трубчастих зразків не співвимірні. Причина цього – напружений стан зразків та відмінність у технології одержання. Концентрація напружень у трубчастих зразках спостерігається біля захватів. Розподіл напружень у плоскому зразку відрізняється від трубчастого, відповідно результати досліджень порівнювати між собою неможливо. Застосовують кільцеві зразки для дослідження ступеню натягу волокон, викривлення їх, а також виявлення внутрішніх напружень композиційних карбопластиків.

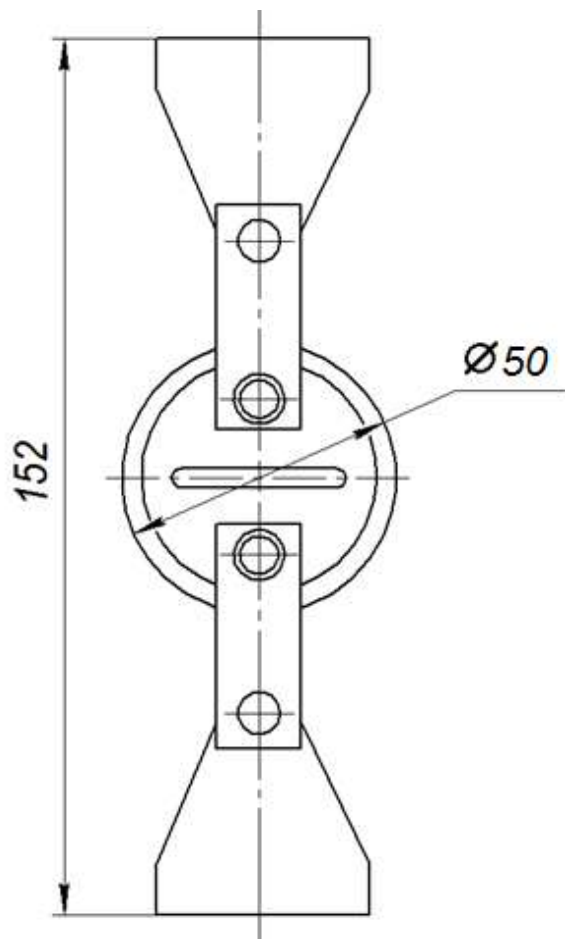
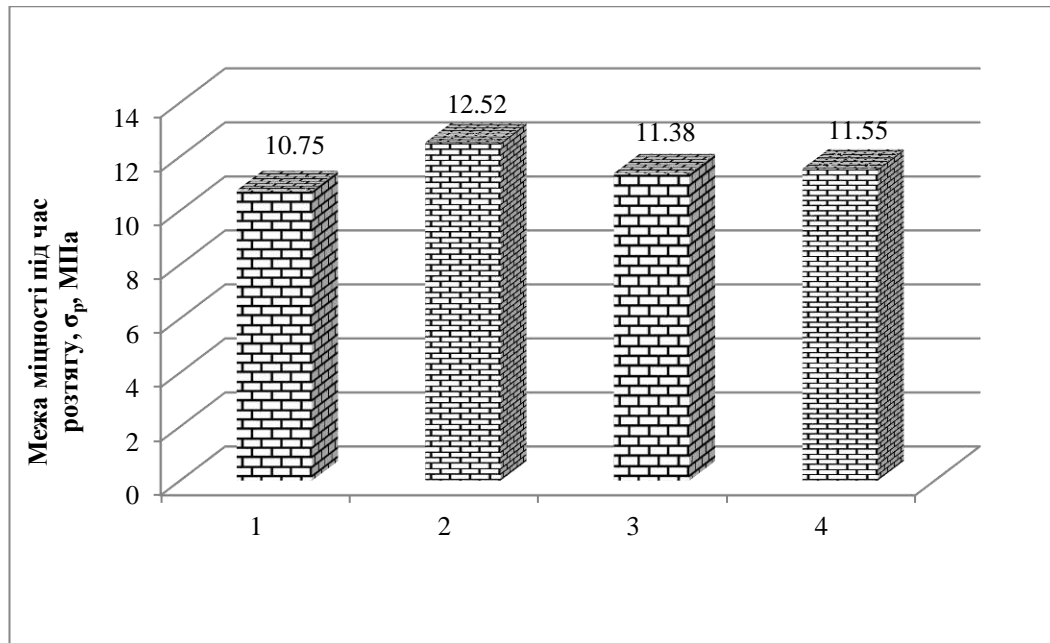


Рисунок 3.7 – Пристрій для досліджень на міцність при розтягу кілець

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Результати досліджень на міцність полімерного композиційного матеріалу при розтягу представлені на рисунку 3.8.



1 – Ф4ВВ20 перший зразок; 2 – Ф4ВВ20 другий зразок; 3 – Ф4ВВ20 третій зразок; 4 – Середнє чисельне значення трьох зразків

Рисунок 3.8 – Гістограма межі міцності під час розтягу фторопластових композиційних матеріалів Ф4ВВ20

Аналіз одержаних результатів показав, що за міцністю під час розтягу полімерний композиційний матеріал Ф4ВВ20 відповідає технічним умовам на його виготовлення ТУ У 20.6 –02071234 – 001 2016.

3.4.2 Методика та дослідження зносостійкості антифрикційних композиційних матеріалів Ф4ВВ20

Дослідження зносостійкості полімерних композиційних матеріалів виконували на модифікованій машині тертя ХТІ-72.

Зразки були змінними та вставлялись у спеціальні гнізда державки. Конструкція вузла тертя давала можливість вимірювати знос, не розбираючи державки зі зразками і не порушуючи контакту. Діаметр плями зносу виміряли за допомогою окуляра МПВ-2 з точністю $\pm 0,005$ мм.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шлях тертя досліджень вибраний такий, щоби величина вимірів зносу переважала похибку у 10–15 разів.

В цих дослідженнях застосовували таку схему контакту: сферична кінцівка пальчика – площина контртіла, зображену на рисунку 3.9.

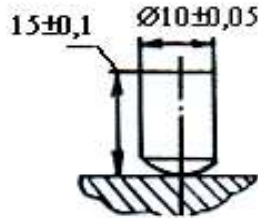


Рисунок 3.9 – Форма зразків та контакту при дослідженнях зносостійкості композиційних матеріалів

Зразки схеми сфера – площина виготовлені циліндричної форми та із закінченням у вигляді напівсфери радіусом 6,35 мм.

За результатами експерименту можна підрахувати інтенсивність об’ємного зношування для шляху тертя за формулами:

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \cdot \Delta S_1} \quad (3.12)$$

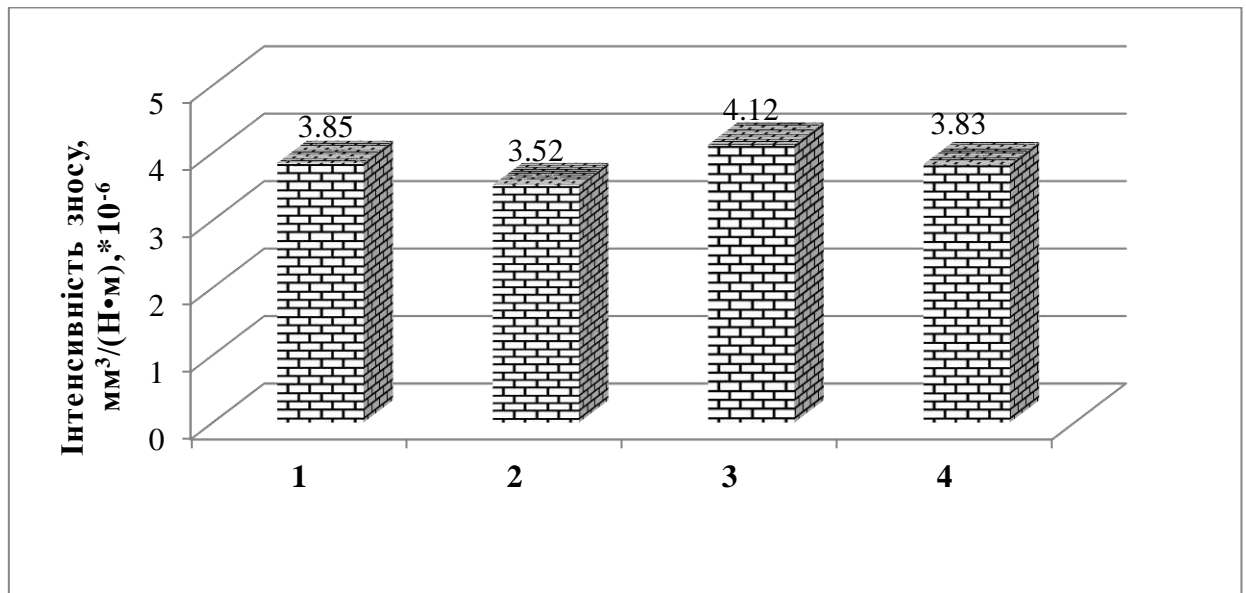
$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \cdot \Delta S_2} \quad (3.13)$$

де ΔV_{1i} – зміна об’єму і-зразка на інтервалі шляху тертя ΔS_1 (залежність зношування від шляху тертя нелінійна); ΔV_{2i} - зміна об’єму і-зразка на інтервалі шляху тертя ΔS_2 (залежність зношування від шляху тертя лінійна).

Нормальне навантаження на один зразок задавали $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $V = 1,1$ м/с, виміряна на відстані 0,5–1 мм від поверхні контртіла. Температура при виконанні експерименту без мащення була задана $T = (323 \pm 2)$ К.

Результати дослідження зносостійкості полімерних антифрикційних матеріалів Ф4ВВ20 представлені на рисунках 3.10 та 3.11.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51



1 – Φ4ВВ20 перший зразок; 2 – Φ4ВВ20 другий зразок; 3 – Φ4ВВ20 третій зразок; 4 – Середнє чисельне значення трьох зразків; перший етап досліджень ($S_1 = 3 \text{ км}$)

Рис. 3.10 – Гістограма інтенсивності зносу композиційних матеріалів Φ4ВВ20

Шлях тертя визначали за формулою:

$$S = K \cdot \Delta A; \quad (3.14)$$

$$\Delta A = A_{\kappa} - A_{\text{н}}, \quad (3.15)$$

де K – коефіцієнт перерахунку;

$A_{\text{н}}$ – показник на спідометрі перед дослідження;

A_{κ} – показник на спідометрі після дослідження.

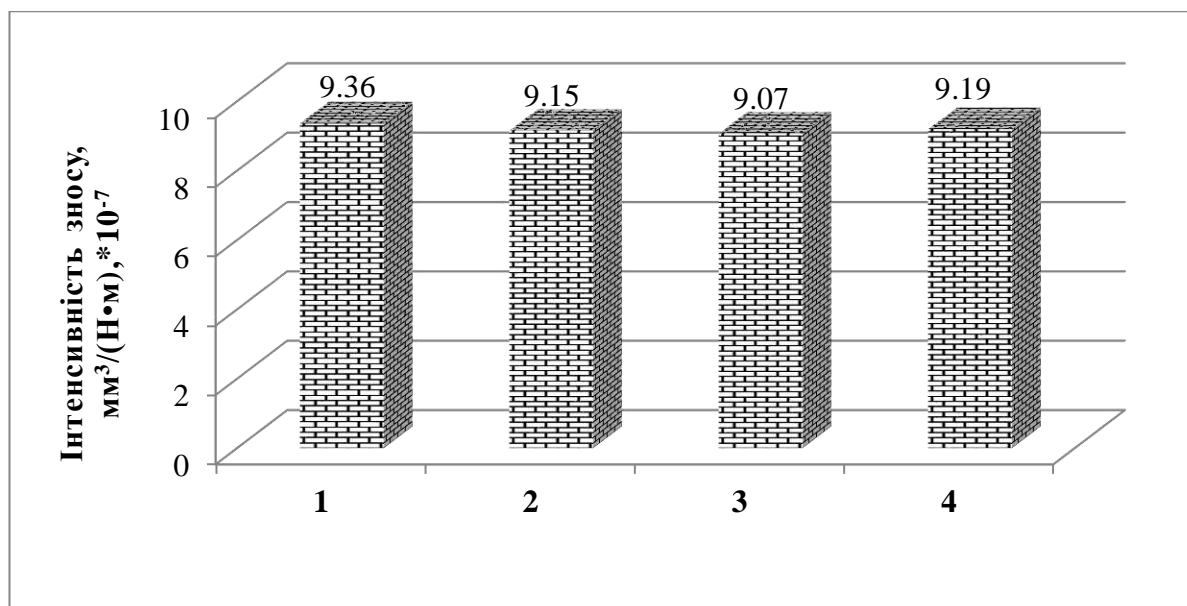
Коефіцієнт перерахунку:

$$K = \frac{2\pi R_{\text{тр}} n}{\Delta A_{\text{T}}}, \quad (3.16)$$

де $R_{\text{тр}}$ – радіус тертя, мм;

ΔA_{T} – показники при таруванні на 1 км показників шкали;

n – число обертів шпинделя.



1– Ф4ВВ20 перший зразок; 2 – Ф4ВВ20 другий зразок; 3 – Ф4ВВ20 третій зразок; 4 – Середнє чисельне значення трьох зразків; другий етап досліджень ($S_1 = 20$ км)

Рис. 3.11 – Гістограма інтенсивності зносу композиційних зносу матеріалів Ф4ВВ20

Аналіз отриманих результатів показав, що за інтенсивністю зносу виготовлений композиційний матеріал Ф4ВВ20 відповідає технічним умовам на його виготовлення ТУ У 20.6 –02071234 – 001 2016.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено умови роботи пари тертя втулка–вал рейки рульового керування автомобіля. Освоєна технологія технічного обслуговування та поточного ремонту агрегату та вузла тертя.

2. Виконано аналіз властивостей антифрикційних фторопластових матеріалів для втулок рейки рульового керування автомобіля, в результаті якого показана перспективність застосування антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20.

3. Розроблено технологічний процес виготовлення лабораторних зразків і втулки рейки рульового керування автомобіля з фторопластового карбопластика Ф4ВВ20.

4. Виконані дослідження зносостійкості та міцності на розтяг антифрикційних матеріалів Ф4ВВ20 для втулок рейки рульового керування автомобіля з метою контролю оцінки їх якості.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кисляков В.Ф. Будова і експлуатація автомобілів.: Підручник / В.Ф. Кисляков, В.В. Лущик. – К.:Либідь, 1989 р. – 400 с.
2. Боровських Ю. І. Будова автомобілів. Підручник. / Боровських Ю.І., Буральов, Ю.В., Морозов К.А. – К. ”Вища школа”1991. – 350 с.
3. Сіренко Г.О. Створення антифрикційних композитних матеріалів на основі порошків термостійких полімерів та вуглецевих волокон: Дис. доктора техн. наук. Ін-т матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ / Сіренко Геннадій Олександрович, К., – 1997. - 431 с.
4. Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості кульової опори автомобіля ВАЗ-2109. / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.Ф. Письменюк. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005, ч. 1, т.1. – №5. – С. 71-73.
5. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості втулок кронштейна маятникового важеля рульового керування автомобіля ВАЗ-21011. / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.О. Дука. // Вісник Хмельницького національного університету. - Технічні науки. - 2007. - №1. - С. 58-61.
6. Lamparter В., Transkenlanfkompessorer./ В. Lamparter. // Schweizer maskhinenmarkt.-1971. - №35. - р. 127-129
7. Застосування синтетичних матеріалів: матеріали конференції. / Гол. редактор Р.І. Сілін. Кишинев. : Картя Молдовеняскэ. – 1975. – 199 с.
8. Theberge I.E. New self-lubricatin plastics. / I.E Teberge, В. Arkles., R. Goordhue // Machine/ Designe. 1973. – v.45 - № 41. - р. 48-51.
9. Свідерський В.П. Дослідження антифрикційних і механічних властивостей модифікованих карбопластиків. / В. П. Свідерський, Л.М. Кириченко, С.В. Шершун // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2009. - №2. – С .30-34.
10. Наукові основи розробки полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення на основі політетрафторетилену : монографія / Х. В. Берладір, О. А. Будник, К. О. Дядюра [та ін.]; за заг. ред. К. О. Дядюри. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 176 с.

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБМТВАТАМ 25.22154.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56