

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

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

## до дипломної роботи бакалавра


Галузь знань 13 – Механічна інженерія  
Спеціальність 132 – Матеріалознавство  
Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський  
Освітньо-професійна програма – Відновлення та технічний сервіс автомобілів

на тему: **«Підвищення зносостійкості натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання»**

Шифр: ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група МТВА -19-1  В.О. Підгурняк

Керівник  к.т.н., доц. В.П. Свідерський

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.  
9 06 2023 р.

Хмельницький, 2023 р.

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота студента групи МТВА-19-1 Підгурняка Владислава Олеговича на тему: «Підвищення зносостійкості натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання».

Обсяг роботи: 70 с., 6 табл., 11 рис., 17 джерел зі списку літератури, 1 додаток.

Метою роботи є покращення фізико-механічних характеристик та зносостійкості полімерного матеріалу натяжного пристрою газорозподільного механізму за рахунок заміни матриці композиційного матеріалу і модифікації його наповнювачами.

Об'єктом дослідження є полімерні елементи натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму.

Проаналізовані причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму. Встановлено, що у даному вузлі тертя найчастіше трапляються такі відмови, як розрив ланцюга приводу газорозподільного механізму через надмірно великі навантаження; обрив заспокоювача та натяжного пристрою в результаті ослаблення ланцюга та надмірного його биття по них; велике зношування зірочок, приводу газорозподільного механізму, ланцюга, заспокоювача, та натяжного пристрою. Освоєна технологія технічного обслуговування газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.

Розроблена технологія процесу виготовлення натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.

Досліджено зносостійкість та міцність на розтяг розроблених матеріалів. Встановлено, що матеріал графелон-ПМ за зносостійкістю за умов обмеженого мащення переважає графелон-20 в 3,3 рази і має на 29 відсотків більшу межу міцності на розтяг. Встановлено, що при об'ємному наповненні більше 10 % ( $\varphi > 0,1$ ) для наповнювачів з високою теплопровідністю (графіт, термооброблений кокс, графітоване волокно) має місце підвищення інтенсивності зношування при збільшенні об'ємної частки наповнювача.

Сконструйовано пристрій для наклеювання пластинки із графелону-ПМ на металеву поверхню натяжного пристрою.

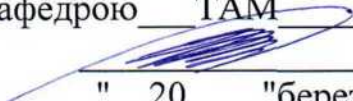
Графічна частина представлена у вигляді презентації.

Ключеві слова: ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МІЦНІСТЬ, НАТЯЖНИЙ ПРИСТРІЙ, ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИЙ МЕХАНІЗМ, ТЕХНОЛОГІЯ, ГРАФЕЛОН-ПМ

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*  
Освітня програма – *Відновлення та технічний сервіс автомобілів*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ  
  
Диха О.В.  
" 20 "березня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Підгурняку Владиславу Олеговичу

1. Тема проекту:

**«Підвищення зносостійкості натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння»**

**керівник проекту: Свідерський Владислав Петрович, к.т.н., доц.**

Затверджено наказом університету від 1.03 2023р. № 5 (Д 14)

2. Термін подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту: *Матеріали практики; робочі креслення елементів газорозподільного механізму; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт*

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

1. *Аналіз причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму.*

2. *Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і пластин натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння з матеріалу графелон-ПМ.*

3. *Дослідження зносостійкості розроблених матеріалів за схемою сфера-площина.*

4. *Методика і дослідження на розтяг композиційних матеріалів.*

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

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

### 5. Консультанти розділів роботи


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

6. Дата видачі завдання: 20 березня 2023р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму	1.05.2023	
2	Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і пластин натяжного пристрою	15.05.2023	
3	Дослідження зносостійкості розроблених матеріалів за схемою сфера-площина	25.05.2023	
4	Методика і дослідження на розтяг композиційних матеріалів	1.06.2023	
5	Оформлення пояснювальної записки	2.06.2023	
6	Оформлення презентації бакалаврської роботи	5.06.2023	
7	Нормоконтроль бакалаврської роботи	9.06.2023	
8	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.06.2023	

Студент





  
Владислав ПІДГУРНЯК

Керівник роботи

  
Владислав СВИДЕРСЬКИЙ

## Зміст

Вступ.....	7
1 Аналіз конструкції ланцюгового приводу газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.....	8
1.1 Конструкція вузла тертя.....	8
1.1.1 Загальний опис конструкції та роботи машини де застосовується вузол тертя.....	8
1.1.2 Опис конструкції приводу газорозподільного механізму .....	9
1.1.3 Характеристика конструкційних та змащувальних матеріалів пари тертя, хімічний склад, фізико-механічні та зносостійкі властивості.....	11
1.1.4 Загальна характеристика методів виготовлення деталей пари тертя.....	13
1.1.5 Характеристика мащення.....	14
1.2 Аналіз причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму.....	18
1.2.1 Види відмов деталей та вузла в цілому .....	18
1.2.2 Якісна оцінка виду зношування натяжного пристрою.....	18
1.3 Формулювання завдання на відновлення та підвищення зносостійкості вузла тертя.....	22
2 Технологія розбирання-збирання та технічного сервісу і ремонту вузла тертя.....	24
2.1 Технологія технічного сервісу (ТС) газорозподільного механізму (ГРМ) двигуна внутрішнього згорання.....	24
2.1.1 Технологія діагностування .....	24
2.1.2 Технологія регулювання ланцюга ГРМ.....	24
2.2 Технологія ремонту приводу ГРМ.....	25
2.2.1 Технологія розбирання приводу РМ.....	25

<b>ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ</b>				
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Нодокум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>
Виконав		Підгурняк В.О.		10.06.23
Перевірів		Свідерський В.П.		10.06.23
Н.контр.		Бабак О.П.		12.06.23
Затвер.		Диха О.В.		12.06.23
Підвищення зносостійкості натяжного пристрою газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання				
		<b>Літера</b>	<b>Аркуш</b>	<b>Аркушів</b>
		Н	5	70
ХНУ, група МТВА 19-1				

2.2.2	Технологія дефектування деталей приводу ГРМ.....	26
2.2.3	Технологія складання приводу ГРМ.....	27
3	Технологія та підвищення зносостійкості деталей вузла тертя.....	29
3.1	Аналітичний огляд матеріалів, що можуть бути застосовані у вузлі тертя.....	29
3.2	Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і пластин натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння з матеріалу графелон-ПМ.....	43
3.2.1	Формування складу композиції.....	44
3.2.2	Подрібнення і змішування компонентів композиції.....	45
3.2.3	Брикетування (холодне пресування) композиційного матеріалу.....	45
3.2.4	Пресування і термообробка виробів.....	47
3.3	Дослідження зносостійкості і міцності на розтяг композиційних матеріалів.....	52
3.3.1	Методика лабораторних випробувань пар тертя.....	52
3.3.2	Дослідження зносостійкості розроблених композиційних матеріалів за схемою сфера-площина.....	58
3.3.3	Методика і дослідження на розтяг композиційних матеріалів.....	60
3.4	Конструювання технологічного обладнання для наклеювання пластинки із графелону-ПМ на натяжний пристрій.....	63
	Висновки.....	67
	Список літератури.....	68
	ДОДАТКИ.....	70

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## Вступ

Першорядну роль в роботі як двигуна, так і всього автомобіля загалом відіграє газорозподільний механізм [1,2]. Завдяки цьому механізму відбувається подача пального в циліндри двигуна та відводяться продукти згоряння. Газорозподільний механізм приводиться в рух за допомогою ремня або ланцюга, що з'єднують дві шестерні механізму. Двигун припиняє роботу у випадку розриву цього ремня або ланцюга. Вибір типу газорозподільного механізму ремінного чи ланцюгового не є визначальним фактором для автомобілістів. Якщо модель двигуна не відрізняється малим ресурсом ланцюга, то ланцюговий привід краще ремінного. Ланцюговий привід може експлуатуватись значно довше, ніж ремінний, що витримує лише пробіг до регламентної заміни.

Привід розподільного валу забезпечується дворядним втулково-роликівим ланцюгом від привідної зірочки, яка обертається колінчастим валом [1,2]. Зірочка валу приводу мастильного насосу приводиться в рух цим же самим ланцюгом. Для необхідного натягу на ланцюгу розміщується натяжний пристрій з заспокоювачем ланцюга, в конструкції яких передбачені гумові накладки.

У газорозподільному механізмі автомобілів ВАЗ, найбільш часто виходить з ладу заспокоювач та натяжний пристрій ланцюга, що виготовляються з металевих пластин, на які нанесені методом вулканізації каучукові накладки, що досить швидко зношуються під постійною дією на них ланок ланцюга. Для забезпечення довговічності газорозподільного механізму і достатньої зносостійкості заспокоювача та натяжного пристрою необхідно значно підвищити зносостійкість найбільш критичного елемента, яким є матеріал накладки натяжного пристрою.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Аналіз конструкції ланцюгового приводу газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння

## 1.1 Конструкція вузла

1.1.1 Загальний опис конструкції та роботи машини де застосовується вузол тертя

У автомобіля для перетворення теплової енергії пального в механічну роботу застосовується двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ).

ДВЗ складається з трьох систем - системи мастила, системи охолодження та системи живлення та двох механізмів - кривошипно-шатунного механізму, механізму газорозподілу [3].

Система мастильного забезпечення двигуна відповідає за змащення тертя поверхонь двигуна, постачання необхідної кількості мастила, часткове охолодження цих поверхонь, видалення відпрацьованого мастила та очищення його від продуктів зношення.

У даному двигуні система мащення комбінована, яка працює під тиском і розбризкуванням, містить в собі загальнопотічний мастильний фільтр із фільтруючим паперовим елементом. Через фільтр протікає все мастило. Мастильний насос сконструйовано шестеренчастим.

Підтримання оптимального теплового режиму забезпечує система охолодження двигуна. У двигуні моделі ВАЗ – 21011 ця система закритого типу, має розширюючий бачок, а циркуляція рідини примусова. Система заповнюється антифризом, який не замерзає за низьких температур.

До складу системи живлення входять такі компоненти, як паливний бак, бензонасос, повітряний фільтр, впускна труба, карбюратор та випускний тракт.

Система запалювання відповідає за запалювання паливної суміші в циліндрах двигуна і складається з джерела електричної енергії, перетворювача низької напруги системи електроживлення автомобіля на високу напругу свічки

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

запалювання, іскри від якої запалює паливну суміш в циліндрах двигуна в потрібний момент.

Двигун внутрішнього згорання перетворює теплову енергію у механічну, яка відповідно приводить в рух транспортний засіб.

### 1.1.2 Опис конструкції приводу газорозподільного механізму

На п'яти опорних шийках встановлений чавунний розподільний вал, який обертається в алюмінієвому литому корпусі в підшипниках ковзання, що встановлені на головці циліндрів. В передній частині розподільного валу закріплена ведуча зірочка. Опорний фланець утримує вал від осьових переміщень, фланець розміщений у проточці передньої опорної шийки розподільного валу.

Передача руху на розподільний вал здійснюється за допомогою дворядного втулково-роликового ланцюга 2 від ведучої зірочки 5, що розташована на колінчастому валу, як показано на рисунку 1.1.

Тим же дворядним втулково-роликовим ланцюгом 2 здійснюється привід зірочки 4 валу приводу мастильного насосу. Ланцюговий привід має напівавтоматичний натяжник 8, який складається з башмака 7 та заспокоювача 3 ланцюга з гумовими накладками. З низу блоку циліндрів встановлений обмежувальний палець 6, який запобігає спаданню ланцюга в картер коли знята зірочка 1 розподільного валу.

Натяжник складається з корпусу 2 (рисунок 1.2), стержня 3 з двома пружинами, плунжера 7, ковпачкової гайки 1 з затискним сухарем 9 та стопорного кільця 4. Пружина 8 діє на стрижень через шайбу 6, а плунжер утримується в корпусі за допомогою стопорного кільця 4, щоб не випадав.

При відкручуванні гайки 1 стрижень 3 звільняється, пружина 5 та 8 тиснуть на плунжер 7, а він в свою чергу тисне на натяжний пристрій, це приводить до натягу ланцюга. Після затягування гайки 1 стрижень затискується цангами сухаря 9. При роботі двигуна на плунжер 7 діє тільки пружина 5. Вона відтягує плунжер

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від головки стрижня 3 і в зазор між ними затікає мастило, що відіграє роль амортизатора при ударах ланцюга.

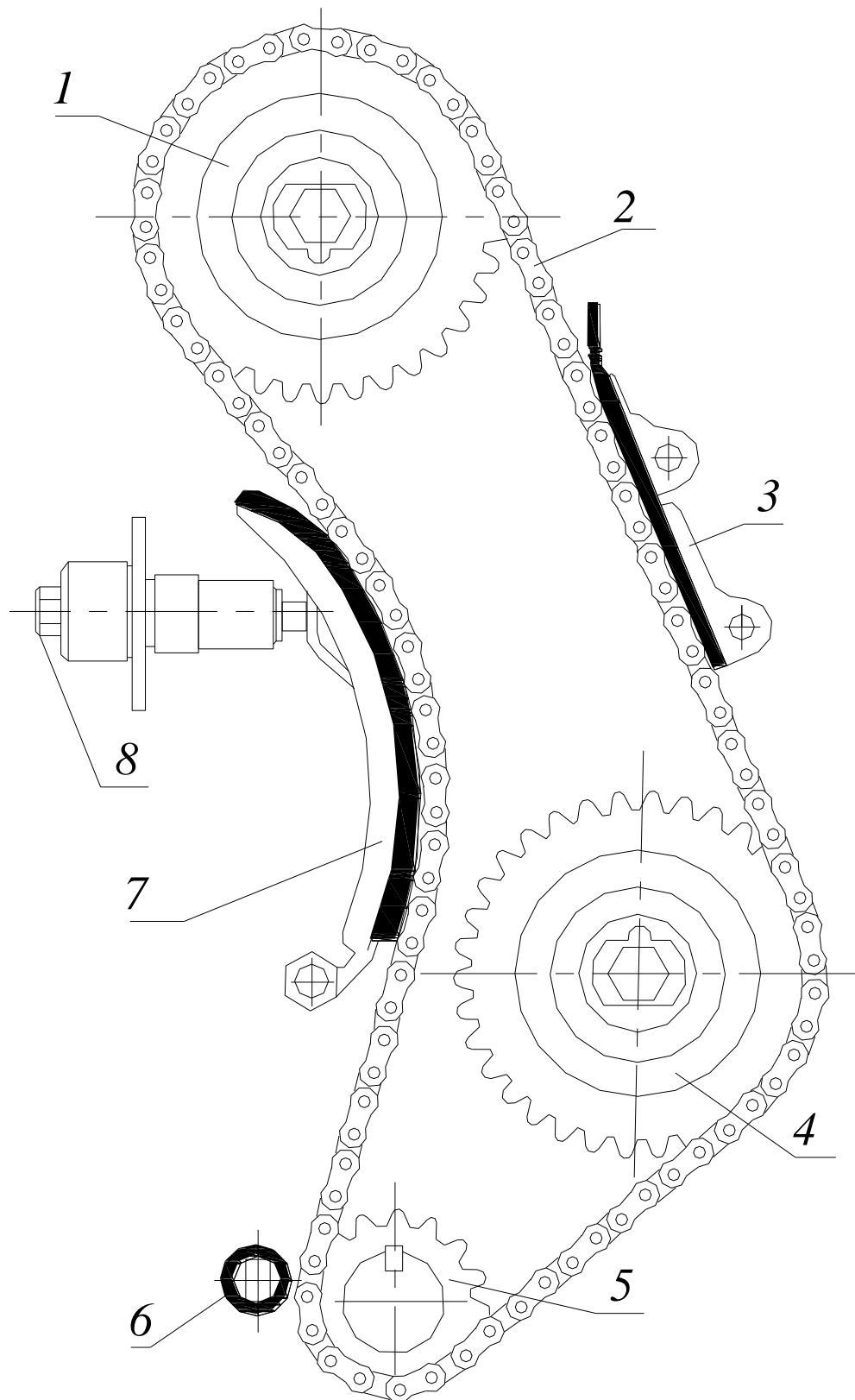


Рисунок 1.1 – Ланцюговий привід автомобіля ВАЗ – 21011

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

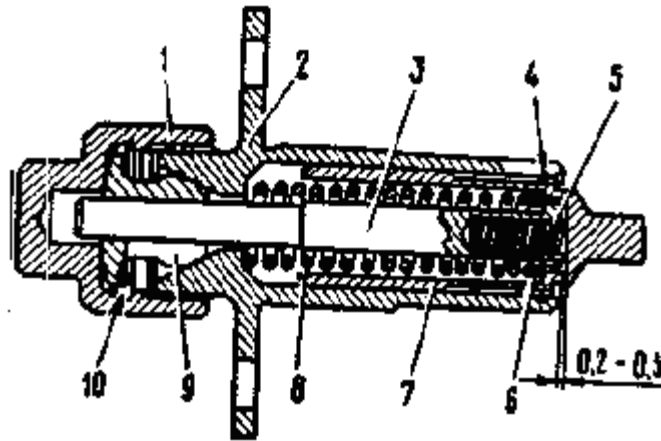


Рисунок 1.2 – Натяжник ланцюга

Між стрижнем 3 та плунжером 7 передбачений гарантований зазор 0,2–0,5 мм, при значних ударах ланцюга залучається до роботи пружина 8.

Для маркування натяжних пристроїв ланцюга передбачена мітка на торцевій поверхні кронштейна.

Окрім того, існують верхні та нижні установчі мітки, які необхідні для правильного взаємного розташування зірочок, для встановлення фаз газорозподілу. Верхні мітки розміщені на зірочці розподільного валу й корпусі підшипників. Нижні мітки – на зірочці колінчастого валу й блоці циліндрів.

Дворядний втулково-роликовий ланцюг у двигуні автомобіля ВАЗ використовується для передачі руху від колінчастого валу до механізму газорозподілу, що дозволяє керувати процесом подачі паливної суміші у циліндри двигуна.

1.1.3 Характеристика конструкційних та змащувальних матеріалів пари тертя, хімічний склад, фізико-механічні та зносостійкі властивості

Натяжний пристрій газорозподільного механізму виготовлений зі сталі 10, на поверхні якого в результаті вулканізації нанесені гумові накладки. Вміст

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вуглецю у сталі 10 складає менше 0,25 %, ця сталь має невисоку твердість , але разом з тим високу пластичність.

Сталь 10 є низьковуглецевою, її виплавляють із дотриманням певних умов у відношенні складу шихти й ведення плавки та розливання. До цієї сталі застосовують більш високі вимоги за хімічним складом та структурою: вміст сірки менше 0,04%, вміст фосфору менше 0,035–0,04 %, за невеликої кількості неметалевих включень, регламентованих маркою.

Механічні характеристики сталі 10 наступні:

$$\sigma_B = 330 - 340 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} = 200 - 210 \text{ МПа} \text{ і } \delta = 33 - 31 \text{ \%};$$

де:  $\sigma_B$  – межа текучості;

$\sigma_{0,2}$  – межа втоми асиметричного циклу = 0,2;  $\delta$  – відносне видовження.

Гумові накладки натяжного пристрою виготовлені з бутадієнітрильного каучуку, який є продуктом сумісної полімеризації бутадієну з нітрилом акрилової кислоти. В залежності від складу є різні марки каучуку, а саме: СКН-18, СКН-26, СКН-40. Полярні властивості каучуку надають групи CN. Чим вища полярність каучуку, тим вищі його механічні та хімічні характеристики, і тим нижча морозостійкість (для СКН-18 від мінус 50 до мінус 60 °С, для СКН-40 від мінус 26 до мінус 28 °С). Застосовують для натяжника каучук СКН-40, який вулканізують сіркою. Гуми на основі СКН можуть працювати в середовищі бензину, палива, мастил в інтервалі температур від мінус 30 до плюс 130 °С.

Ланцюг автомобіля ВАЗ є дворядний та складається з таких частин: втулок, валиків, роликів, зовнішніх та внутрішніх пластин.

Зі сталі 40Х виготовляють валики. При збільшенні вмісту вуглецю зростає міцність, але знижується пластичність та в'язкість сталі.

Хромисті сталі схильні до відпускнуї ламкості, тому після високого відпуску охолодження повинно бути швидким, для малих деталей – в мастилі і для великих – у воді. Гартування хромистої сталі незначне.

Втулки і ролики виготовляють із сталі 45. Сталь 45 – це середньовуглецева сталь, яка містить 0,3–0,5 % вуглецю. Цю сталь застосовують після нормалізації,

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покращення та поверхневого загартування для різних деталей у всіх галузях машинобудування. В нормалізованому стані дана сталь по відношенню з низьковуглецевими має більш високу міцність при більш низькій пластичності ( $\sigma_B = 500\text{--}610$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 300\text{--}360$  МПа,  $\delta = 21\text{--}16$  %). Сталь у відпаленому стані добре обробляється різанням. Найбільш легко обробляються доєвтектоїдні сталі зі структурою пластинчастого перліту. Після покращення сталь 45 має такі механічні властивості:  $\sigma_B = 600\text{--}700$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 400\text{--}600$  МПа. Гартування сталі невелике, критичний діаметр після загартування у воді не перевищує 10–12 мм (95 % мартенситу). Таке гартування застосовують для виготовлення невеликих деталей, які не потребують наскрізного гартування.

І зовнішні і внутрішні пластинки ланцюга виготовлені із сталі 65Г.

Сталь 65Г – це сталь, яка містить 0,6–0,85 % вуглецю, має підвищену міцність та зносостійкість, а також має пружні властивості. Застосовують таку сталь після загартування й відпуску, нормалізації й відпуску та поверхневого загартування для деталей, що працюють в умовах тертя за наявності високих вібраційних навантажень.

#### 1.1.4 Загальна характеристика методів виготовлення деталей пари тертя

Методом обробки металу тиском виготовляють натяжний пристрій ланцюга двигуна внутрішнього згорання, а саме штампуванням у вигляді колодки, на яку наклеєно, або вулканізовано гумову накладку.

Натяжний пристрій виготовляють із сталі 10. Цю сталь виплавляють із дотриманням важливих умов у відношенні складу шихти й ведення плавки й розливання.

Гумова накладка натяжного башмака яку наклеюють, або вулканізують – це СКН – бутадієнітрильний каучук, таких марок: СКН-18, СКН -26, СКН-40.

Для натяжного башмака частіше застосовується СКН-40. Вулканізують СКН за допомогою сірки.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Такі гуми можуть працювати в середовищі бензину, палива, мастил в інтервалі температур від мінус 30 до плюс 130 °С, це і обумовило їх застосування в цьому вузлі.

### 1.1.5 Характеристика мащення

Для змащування поршневих двигунів внутрішнього згоряння використовують моторні мастила. Вони є легованими матеріалами, що складаються з базового мастила та синтетичних домішок, або присадок, які покращують природні властивості базового мастила, або надають йому необхідні нові властивості. Експлуатаційна властивість моторного мастила визначає склад, в'язкість базового мастила та типи та концентрації присадок, які додають до нього. Концентрація присадок у моторних мастилах змінюється в широкому діапазоні, від декількох відсотків у мастилах для легких умов роботи до 25–30 відсотків в мастилах для складних умов роботи.

Для правильного вибору моторного мастила використовують відповідні стандарти їх маркування, в яких вказано і умови застосування.

Стандартне маркування моторних мастил складається з наступних умовних позначень. Буква М на початку означає мастило моторне. Наступна за нею цифра вказує номінальну в'язкість мастила в сантистоксах (сСт при 100 °С), для мастил різних сезонів таке ж значення має знаменник дробу, а чисельник вказує межі в'язкості в сСт при – 18 °С. Після числа або дробу може з'явитися буква з числовим індексом 1 або 2, що вказує на групу застосування мастила в залежності від його експлуатаційних властивостей.

Встановлено 11 класів моторних мастил за в'язкістю і 12 груп за експлуатаційними властивостями та галузями застосування.

До важливих властивостей моторних мастил, які визначають можливість їх застосування в різноманітних умовах експлуатації двигунів різного типу і ступеня форсованості відносять:

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- миючі властивості (властивості запобігати утворенню вуглецевих відкладень на гарячих поверхнях деталей та закоксованості поршневих кілець);
- протизносні властивості;
- дисперегуючі властивості (здатність запобігати утворенню низькотемпературних відкладень у картері, мастилопроводах, фільтрі мастилозабірника та інших зонах при роботі двигуна на малих навантаженнях);
- антикорозійні властивості (здатність запобігати корозійному руйнуванню антифрикційних покриттів підшипників колінчастого валу);
- антиокисні властивості (стійкість мастила до окиснення за високих температур);
- нейтралізуючі властивості (здатність нейтралізувати кислоти, які утворюються в процесі окиснення мастила, що конденсуються з продуктів згоряння палива).

Змінюючи склад композиції присадок та їх вміст в мастилі, отримують товарні мастила з комплексом властивостей, що відповідають вимогам класифікаційних груп.

Класифікація мастил також проводиться за групами експлуатаційних властивостей в залежності від галузі їх застосування. Мастила групи Б1 і Б2, В1 і В2, Г1 і Г2 призначені для малофорсованих, середньофорсованих та високофорсованих карбюраторних та дизельних двигунів. Мастила групи Б, В і Г є універсальними та застосовуються для двигунів обох типів. Групи мастил для двигунів відрізняються тільки кількістю та складом присадок. Одна й та ж присадка має різні властивості в поєднанні з іншими присадками і за різних умов експлуатації. Тому мастило потрібно застосовувати у відповідності з його призначенням і не змішувати мастила різних груп. Надлишок присадок також шкідливий як їх недостатня кількість.

Для збільшення вязкості допустимо добавляти у мастила всіх груп авіаційні мастила МС-14 і МС-20, що не місять присадок. Критерій форсування двигунів

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

визначений діленням середньої швидкості поршня на середній ефективний тиск є показником складності умов роботи мастила.

Для змащення двигуна автомобіля ВАЗ застосовується комбінована система, яка включає в себе мастильну систему з підкачуванням мастила під тиском та систему розпилювання мастила (рисунок 1.3).

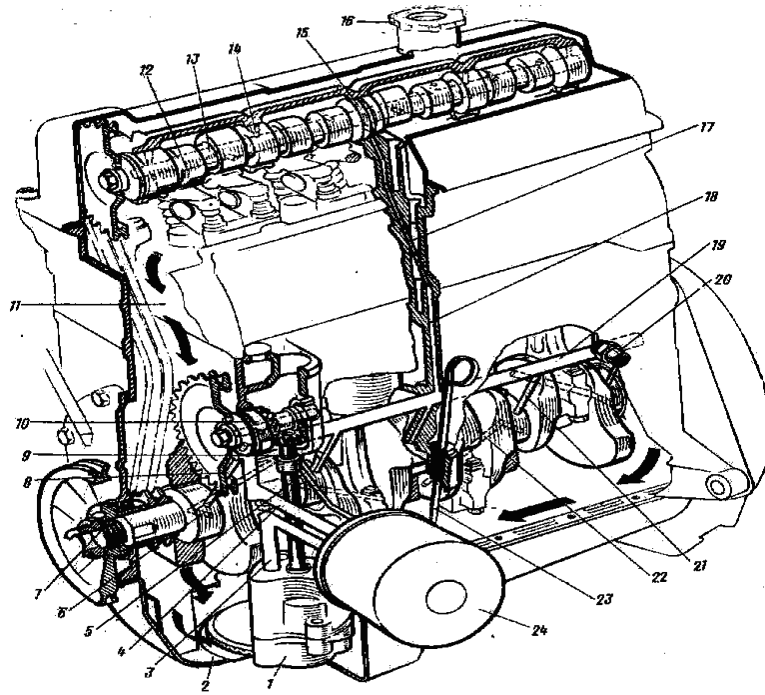
Корінні та шатунні підшипники, опори і кулачки розподільного валу, а також підшипники валу і шестерня приводу мастильного насосу змащуються під тиском. Стінки циліндрів, поршні з поршневыми кільцями, поршневі пальці в бобишках, ланцюг приводу розподільного валу, опори коромисел приводу клапанів та стрижні клапанів в направляючих втулках змащуються шляхом розпилення.

Мастило, яке знаходиться у мастильному картері 2, відсмоктується мастильним насосом 1 і по каналу 3 в блоці циліндрів подається до повнопотічного фільтру 24. Після фільтра мастило протікає до мастильної магістралі 19 для змащення корінних підшипників та двох підшипників валика 10 приводу мастильного насосу. Мастило, яке поступає від корінних підшипників, змащує шатунні підшипники через внутрішні канали колінчастого валу. З них, за допомогою розбризкування, мастило поступово змащує стінки циліндрів через отвори, розташовані у нижніх головках шатунів.

Мастило до опор та кулачків розподільного валу постачається через канали 17 і 18, які знаходяться в блоці та головці циліндрів, а також через магістральний канал 13 в самому розподільному валу. Ланцюг приводу розподільного валу змащується мастилом, яке розпилюється і виштовхується з передньої опори розподільного валу та передньої втулки валу приводу мастильного насосу.

Датчик 20 контрольної лампи тиску мастила розташовується на блоці циліндрів і підключається до мастильної магістралі. Сигнальна лампа в комбінації приладів спалахує під час запуску двигуна, а потім вимикається, коли тиск мастила досягає достатнього рівня для нормального змащення.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



1 – мастильний насос; 2 – мастильний картер; 3 – канал подачі мастила від насоса до фільтра; 4 – горизонтальний канал для подачі мастила від фільтра в мастильну магістраль; 5 – канал для подачі мастила до шестерні приводу мастильного насосу й розподільника запалювання; 6 – канал у шийці колінчастого валу; 7 – передній сальник колінчастого валу; 8 – канал подачі мастила від мастильної магістралі до корінного підшипника і до валика приводу мастильного насосу і розподільника запалювання; 9 – шестерня приводу мастильного насосу і розподільника запалювання; 10 – валик приводу мастильного насосу і розподільника запалювання; 11 – канал для стоку мастила; 12 – канал в кулачці розподільного валу; 13 – магістральний канал в розподільному валу; 14 – канал в опорній шийці розподільного валу; 15 – кільцева виточка на середній опорній шийці розподільного валу; 16 – кришка мастильнозаливної горловини; 17 – нахилений канал в головці циліндрів; 18 – вертикальний канал в блоці циліндрів; 19 – мастильна магістраль; 20 – датчик контрольної лампи тиску мастила; 21 – канал подачі мастила до корінного підшипника; 22 – канал подачі мастила від корінного підшипника до шатунного; 23 – показчик рівня мастила; 24 – мастильний фільтр

Рисунок 1.3 – Система мащення двигуна автомобіля ВАЗ

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Інколи буває, що при нагрітому мастилі сигнальна лампа може горіти. Це відбувається, коли двигун працює на малих обертах.

Тиск нормальний мастила при 85 °С і 5600 об/хв. складає 0,35–0,45 МПа. Тиск мінімальний мастила за мінімальної частоти обертання колінчастого валу 850–900 об/хв. має бути не менше 0,05 МПа.

## 1.2 Аналіз причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму

### 1.2.1 Види відмов деталей та вузла в цілому

Вузол тертя газорозподільного механізму може мати такі відмови у роботі:

- розрив ланцюга приводу через надмірні навантаження;
- при ослабленні ланцюга обрив заспокоювача та натяжного пристрою;
- зношування надмірне приводу газорозподільного механізму, ланцюга, заспокоювача, зірочок та натяжного пристрою.

Ресурс роботи газорозподільного механізму становить 60 тисяч кілометрів пробігу автомобіля. Відповідно ланцюг, натяжний пристрій ланцюга системи газорозподільного механізму як невід’ємні частини мають такий же ресурс пробігу.

### 1.2.2 Якісна оцінка виду зношування натяжного пристрою

Між ланцюгом і натяжним пристроєм, тобто у вузлі тертя має місце абразивне, і втомлювальне зношення [4,5]. Ці зношування є результатом дії граничного тертя. Безпосередня взаємодія контактуючих поверхонь тертя з абразивними частинками має характер абразивного зношування. Результат

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

абразивного зношування – руйнування контактуючих поверхонь деталей натяжного пристрою.

Процес руйнування контактуючих поверхонь у результаті взаємодії абразивних частинок може відбуватись в результаті:

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

Абразивне зношування виникає, якщо на поверхню тертя попадають частинки руди, вугілля, пил, металева стружка, що знаходяться на поверхні тертя чи зруйновані, а також інші продукти зношування, особливо викришені частинки твердих структурних інгредієнтів.

Частинки абразивні можуть бути по-різному розміщені по поверхні, крім того можуть мати різну форму. Вплив абразивного зерна на поверхню залежить не лише від його твердості, але також від геометричної форми зернинок.

При припущенні, що середовище неагресивне до поверхні деталі, слід розрізняти наступні випадки взаємодії абразивних частинок із матеріалом:

- а) удар прямий, (кут атаки  $\alpha = 90^\circ$ ), маса частинок, їх швидкість падіння, властивості абразиву та фізико-механічні характеристики матеріалу деталі впливають на типи деформації та руйнування, які виникають. Залежно від цих факторів, можуть відбуватись пружна деформація, пластична деформація, крихке руйнування, перенаклеп і відокремлення матеріалу у вигляді луски.;
- б) косий удар, ( $0 < \alpha < 90^\circ$ ), при кутах атаки, які не перевищують кут тертя, характер пошкодження поверхні значно залежить від складової імпульсу та опору матеріалу до дії дотичних сил на поверхню.

У гуми спостерігається зменшення швидкості зношування при збільшенні кута атаки відносно кута тертя, і після цього швидкість зношування стає постійною. Однак, у інших матеріалах швидкість зношування може постійно зростати в залежності від співвідношення твердостей абразиву та матеріалу

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зношуваної поверхні. Ця швидкість досягає максимального значення при певному куті атаки, а потім зменшується.

У деяких випадках зносостійкість гуми може бути декілька разів вищою, ніж у загартованої сталі. Однак, в інших випадках, особливо при нульовому куті атаки, зносостійкість гуми може бути нижчою, ніж у сталі. Це пов'язано з природою втомлюваного пошкодження поверхні, яке може бути більш проблематичним для гуми, ніж для сталі. Вчасна заміна мастила та фільтруючих елементів зменшує дію абразивного зношування.

Втомливе зношування це вид механічного зношування, в результаті якого проходять руйнування при повторному багаторазовому деформуванні мікрочастинок поверхневого шару матеріалу. Даний процес має латентний прихований період, в результаті якого проходить накопичення пошкоджень також і всередині матеріалу. Піттинг є типовим представником втомливого зношування, що виникає в катках, роликотітшипниках, опорно-поворотних приладах та інших деталях при терті кочення.

Пластичне деформування поверхневих шарів при терті являє собою локалізацію деформацій в поверхневих найтонших шарах, структурну, хімічну і термічну активність верхнього шару при терті. Деформація пластична у поверхневому шарі має дві стадії. При першій стадії наявність великої кількості неточностей роблять легшим рух дислокацій. Взаємодія дислокацій при подальшій деформації приводить до самогальмування їх, що сприяє виходу полос ковзання на поверхню, в результаті чого спостерігається напруження течії.

В результаті порушення структури кристалістичної ґратки внаслідок термічних, хімічних та механічних факторів в матеріалі виникають внутрішні напруження. Зносостійкість також знижує наявність у поверхневому шарі розтягуючих напружень.

В процесах деформації при терті можуть приймати участь різні інохідні тверді тіла, які потрапляють у зону контакту з навколишнього середовища а також з мастильним матеріалом. Степінь деформації та рівень зношуваності різний та в

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

великій мірі залежить від форми та розмірів частинок, їх механічних властивостей, співвідношення твердості частинок та поверхонь. Дані тверді частинки при контакті та деформуванні поверхневого шару можуть руйнуватись та розчленовуватись на мілкіші кусочки, в результаті дії сил в контакті, а також можуть пошкоджувати поверхні, розрізати та деформувати, цим самим змінюючи характер пластичного деформування поверхневих шарів. При закріпленні частинки в одному з тіл, вона може працювати як різець та зрізати з контактної поверхні стружку. Наявність стружки є одним із видів пластичного деформування матеріалу, що виникає шляхом зсуву ділянок матеріалу по лініях ковзання. Матеріал стружки, утворений під час обробки або зношування, може виноситися з зони контакту у вигляді продуктів зносу. Також він може брати участь у подальшому деформаційному процесі поверхневого шару. Частинки стружки, які потрапляють у зону контакту, можуть переміщатись до границі контакту та виноситися разом з мастильним матеріалом. Час перебування частинок в контакті та їх винесення з зони контакту залежать від характеристик вузла тертя, таких як геометрія, коефіцієнт взаємного перекриття  $K_p$ , кінематика взаємного руху деталей, присутність мастильного матеріалу та наявність порожнин для зберігання відходів зношування.

Динаміка роботи вузлів та деталей, кінематика спряження і форма деталей здійснюють величезний вплив на деформування пружно-деформаційного стану фрикційного контакту. Особливо значну роль відіграють ударні та вібраційні навантаження. Так як у вузлах тертя контактні деталі знаходяться в неоднакових умовах, то ділянки тертя точок поверхонь також неоднакові. Тому напружено-деформаційний стан залежить від форми й співвідношення твердостей поверхонь.

Режим роботи обладнання впливає на якісну і кількісну картину зношування. Зміна режимів та умов роботи вузла тертя в значній мірі змінює властивості поверхневого і приповерхневого шарів в зоні контакту.

Зміна структурного стану поверхневих шарів, зміна характеру фрикційного руйнування протікає скачкоподібно, що підтверджує крива зношування. Ця зміна

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

виникає при комбінації таких параметрів як навантаження, швидкість та температура.

У практиці відомо, що при ударних навантаженнях зношування крихких тіл може відбуватись шляхом зрізу.

Процес втомливого зношування має прихований латентний період, внаслідок якого виникає накопичення пошкоджень всередині металу. У твердих тілах, в тому числі металах, неоднорідні тріщини втоми виникають на неоднорідностях структури матеріалів при експлуатації вузлів тертя.

В процесі роботи, при повторюваності дій на поверхню тертя втомливі тріщини збільшуються за кількістю та глибиною. Лише  $10^6$ – $10^7$  циклів достатньо для руйнування поверхневого шару матеріалу навіть при малих напруженнях. При втомливому руйнуванні зношування має вигляд глибоких ямок, у яких круті стінки. Початкова стадія руйнування розташована на деякій відстані від поверхні контакту деталей на ділянці максимальних контактних напружень.

Піттинг – це вид втомливого руйнування, при цьому зношування виникає при терті кочення. Пружні деформації при терті полімерних матеріалів викликають утворення втомливих тріщин, які розміщуються в поперечному напрямку лінії ковзання. Такі тріщини приводять до руйнування фрикційного вузла.

Поступове формування поверхні та збільшення зношування має місце при ударно-втомливому зношуванні. Відсутній рельєф поверхні зношування у вигляді рисок і лунок, а в результаті співудару зразків високої твердості згладжуються нерівності та шорсткість поверхні.

### 1.3 Формулювання завдання на відновлення та підвищення зносостійкості вузла тертя

#### *Мета і завдання дослідження*

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Метою роботи є** покращення фізико-механічних характеристик і зносостійкості полімерного матеріалу натяжного пристрою газорозподільного механізму за рахунок заміни матриці композиційного матеріалу і модифікації його наповнювачами.

**Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму.
2. Освоїти технологію технічного сервісу газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.
3. Розробити технологію процесу виготовлення полімерної накладки натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.
4. Дослідити зносостійкість і міцність на розтяг розроблених полімерних композиційних матеріалів.
5. Сконструювати пристрій для наклеювання пластинки із графелону-ПМ на металеву поверхню натяжника.

**Об'єктом дослідження є** натяжний пристрій ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.

**Предметом дослідження є** підвищення зносостійкості матеріалу графелон за рахунок заміни матриці полімерного матеріалу та модифікації його наповнювачами.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Технологія розбирання – складання та технічний сервіс вузла

2.1 Технічний сервіс газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння

### 2.1.1 Технологія діагностування

Обкатування та експлуатація автомобіля приводить до зношування ланок ланцюга та його витягування.

Під час роботи двигуна з ланцюговим приводом розподільного валу на малій частоті обертання колінчастого валу прослуховується характерний шум у передній частині машини у вигляді шелестіння. Цей шум при роботі двигуна на малій частоті обертання колінчастого валу не є ознакою несправності [3].

Проте, у випадку посилення цього шуму або появи стуків необхідно приступити до регулювання газорозподільного механізму.

### 2.1.2 Технологія регулювання ланцюга ГРМ

В технічних умовах експлуатації рекомендовано на новому автомобілі перше регулювання ланцюга ГРМ виконувати після пробігу 5тис. км, друге – 10тис. км, а далі після кожних 10тис. км пробігу.

Двигун ВАЗ забезпечений напівавтоматичним натяжним пристроєм, який при відпуску стопора автоматично забезпечує натяг ланцюга за рахунок зусилля пружини.

У цього типу автомобілів для регулювання натягу ланцюга вмикають гальмування за нейтральної передачі. Потім за допомогою відповідного ключа ослаблюють ковпачкову гайку натяжного пристрою. Далі пусковою рукояткою плавно прокручують колінчастий вал на 2–3 обертій, затягуючи ковпачкову гайку.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

## 2.2 Технологія ремонту приводу ГРМ

### 2.2.1 Технологія розбирання

Зняття ланцюга приводу розподільного валу виконують у такій послідовності:

- а) зливають охолоджувальну рідину із системи охолодження двигуна;
- б) знімають повітряний фільтр та акумуляторну батарею;
- в) трос приводу повітряної заслінки від'єднують від карбюратора ;
- г) тяги приводу дросельних заслінок карбюратора відокремлюють від важеля на кришці головки циліндрів;
- д) знімають радіатор зі шлангами та термостатом, а також вентилятор, відкрутивши кріплення;
- є) знімають кришку головки циліндрів та провертають колінчастий вал до того моменту, коли мітка на зірочці розподільного валу співпадає з міткою на корпусі підшипників, а мітки на шківі приводу генератора з відповідною довгою міткою на кришці приводу розподільного валу;
- ж) розкручують болт, що тримає зірочку розподільного валу на місці. Відпускають гайку на натяжнику ланцюга, віджимають шток натяжника за допомогою монтажною лопатки та закріплюють його гайкою. Потім знімають зірочку розподільного валу;
- з) послаблюючи кріплення генератора, знімають пас його приводу;
- к) за ввімкненої четвертої передачі, викручують храповик та знімають з колінчастого валу шків приводу генератора;
- л) відкрутивши гайки кріплення кришки до блоку циліндрів і болти кріплення мастильного картера до кришки, знімають кришку приводу розподільного валу із прокладкою;
- м) відкручуючи запобіжний палець, знімають ланцюг приводу розподільного валу.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Щоб вилучити натяжний пристрій, проводять усі раніше згадані дії для відкриття кришки приводу розподільного валу, за винятком зняття зірочки розподільного валу. Після відкриття кришки приводу розподільного валу, відкручують болт, що кріпить натяжний пристрій до блоку циліндрів, та вилучають сам натяжний пристрій.

Для видалення заспокоювача ланцюга виконують такі дії: спочатку знімають повітряний фільтр, а потім відключають провідник від негативної клеми акумуляторної батареї. Далі роз'єднують трос приводу повітряної заслінки від карбюратора, а також від'єднують тягу приводу дросельних заслінок карбюратора від важеля, розташованого на кришці головки циліндрів.

Ослабляючи ковпачкову гайку натяжника ланцюга, відтискають монтажною лопаткою шток натяжника та фіксують його цією ж гайкою. Потім викручують болти кріплення заспокоювача ланцюга до головки циліндрів для його зняття.

## 2.2.2 Технологія дефектування деталей приводу ГРМ

Визначення дефектів натяжника.

З ціллю визначення дефектів деталей натяжника ланцюга його необхідно розібрати. Далі необхідно детально перевірити поверхні деталей, а саме: чи немає на поверхнях, що взаємодіють між собою натяжного пристрою й плунжера натяжника ланцюга глибоких пошкоджень у вигляді рисок та задирів. У випадку виявлення пошкоджень, деталі пошкоджені слід замінити.

Також, доцільно перевірити пружину натяжника на пружність. Довжина її у вільному стані повинна бути 62 мм, під навантаженням  $12.5 \pm 0.6$  кгс повинна бути 47 мм, а під навантаженням  $18.5 \pm 1.0$  кгс – 40 мм. За незадовільної пружності пружина підлягає заміні. Перевірка на зношування здійснюється також на натяжному пристрою та заспокоювачі. За наявності глибоких борозд у гумових накладках, а також коли вони зношені до металевої основи, то натяжний пристрій та заспокоювач необхідно замінити.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Починається перевірка ланцюга приводу розподільного валу промиванням його гасом, після цього перевіряють стан ланок. На роликах та щічках ланцюга не можуть бути наявні тріщини, сколи або інші видимі пошкодження, оскільки це не допускається.

Робота двигуна автомобіля приводить до витягування ланцюга. Допустиме збільшення ланцюга повинно складати не більше 4 мм.

Витягування ланцюга замірюється між осями роликів. Вимірювання відстані збільшення довжини ланцюга виконують за два періоди: розтягують ланцюг із зусиллям, рівним 30 кгс, потім знижують зусилля до 15 кгс, далі знову це все повторюють та здійснюють вимірювання відстані між осями роликів.

Вдстань між осями роликів нового ланцюга складає  $485,775^{+0.5}_{+0.1}$ мм. За витягування ланцюга до 490 мм, його замінюють.

### 2.2.3 Технологія складання приводу ГРМ

Починається збирання вузла з одівання ланцюга на зірочки колінчастого валу і валу приводу мастильного насосу, далі закручують запобіжний палець 6 ланцюга. Далі необхідно встановити зірочку розподільного валу, надівши на неї ланцюг згідно установчих міток, при цьому болт кріплення зірочки не затягуючи до кінця.

Потім необхідно послабити ковпачкову гайку натяжника ланцюга та повернути колінчастий вал на два оберти та затягнути гайку. При цьому перевіряють співпадіння установочних міток. У випадку, коли мітки не співпадають, то знову встановлюють ланцюг, коректуючи положення зірочки розподільного валу. Якщо мітки співпадають, то остаточно затягують болт кріплення зірочки розподільного валу. Після виконаних цих операцій можна монтувати на двигун автомобіля всі попередньо зняті деталі та вузли.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після збирання вузла ГРМ необхідно відрегулювати момент запалювання, натяг пасу приводу генератора, а також приводи повітряної та дросельних заслінок карбюратора.

Наступним етапом після встановлення натяжного пристрою та всіх необхідних деталей є перевірка та регулювання заспокоювачем натягу ланцюга та перевірка пасу приводу генератора. Далі слід відрегулювати момент запалювання, приводи повітряної та дросельних заслінок карбюратора.

Для видалення спрацьованої гумової накладки заспокоювача та підготовки поверхні для подальшого відновлення проводиться абразивно-механічна обробка по поверхні натяжного пристрою.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

### 3 Технологія та підвищення зносостійкості деталей вузла тертя

#### 3.1 Аналітичний огляд матеріалів, що можуть бути застосовані у вузлі тертя

Практично частіше всього у газорозподільному механізмі автомобілів ВАЗ виходить з ладу натяжний пристрій ланцюга, що складається з металевих пластин, на які нанесені вулканізацією каучукові накладки, які досить швидко зношуються в результаті постійної дії на них ланок ланцюга. Для забезпечення тривалої роботи та високої стійкості до зношування натяжного пристрою і всього газорозподільного механізму автомобіля необхідно значно підвищити стійкість до зношування основного компонента пари тертя - матеріалу накладки натяжного пристрою.

Можна використовувати полімерні композити на основі аліфатичних поліамідів, які наповнені твердими мастилами, такі як П-610-ВСМ, ПНС-610-ДМ-1.5, КГ-10 та АТМ-2. У цих композитах в якості сухих мастил використовуються тальк, графіт, дисульфід молібдену, а в якості армуючих наповнювачів - скляне волокно. Для поліамідів, які містять скловолокно, для покращення антифрикційних властивостей додатково вводять порошок нафтових відпалених коксів та циліндрове мастило. У вузлах, які працюють без мащення, застосування цих матеріалів досить обмежене, оскільки спостерігається виділення мастила на поверхні тертя.

Також доцільно для покращення антифрикційних та фізико-механічних властивостей наповнених графітом капронових композицій вводити до їх складу високодисперсний кокс термоантрацит. Як приклад, це може бути матеріал АТМ-2. Заміна мастила на кокс дає можливість скоротити витрату капронової смоли вдвічі. Механічна міцність даного матеріалу в 1,6 разів, а теплопровідність в 3 рази вища, ніж у капрону. Доречно відмітити, що при цьому підвищується стабільність розмірів та властивостей даного матеріалу.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичні дослідження показали, що ці матеріали найбільш доцільно використовувати у вузлах тертя, де передбачено наявність мащення.

Цим конструкційним матеріалам є характерне поєднання механічної міцності з високими антифрикційними та електроізоляційними властивостями, а також корозійною та хімічною стійкістю. Застосування даних матеріалів досить широке. З них виготовляють вкладиші підшипників, шестерні, ролики, муфти, лопаті гвинтів, деталі електроізоляційного призначення. Деталі з поліамідів можуть працювати без мастила та у водних середовищах. При наповненні виробів з цих матеріалів графітом, тальком, дисульфідом молібдену забезпечується ефект самозмащування у вузлах тертя.

Поліаміди використовуються широко в виготовленні плівкових матеріалів, лаків та просочувальних сумішей. Поліамідні плівки знаходять широке застосування у промисловості як пакувальний матеріал, а також як сировина для виробництва кіноплівки і штучної шкіри.

Особливо високу міцністю мають армовані поліамідні плівки. Ці покриття мають високу механічну міцність та хімічну стійкість. Поліамідні плівки знаходять широке застосування у промисловості як пакувальний матеріал, а також як сировина для виробництва кіноплівки і штучної шкіри.

В роботах [1,2] питання підвищення зносостійкості натяжного пристрою газорозподільного механізму було вирішене за рахунок заміни базового матеріалу, в якості якого виступав каучук СКН-40 на антифрикційний матеріал графелон-20.

У таблиці 3.1 приведені основні фізико – механічні показники зразків цих матеріалів, отриманих прямим пресуванням та литтям. Як видно з таблиці, зразки, отримані прес-литтям мають набагато кращі механічні характеристики ніж пресовані зразки. Аналізуючи показники властивостей матеріалів наведених в таблиці 3.1 можна зробити висновок, що відносне видовження графелону-20 при розриві не перевищує при кімнатних температурах 5–7 відсотків, у той час як при стисненні деформація може бути значною, в

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежності від розмірів зразки можуть деформуватися без виникнення тріщин на 30–70 відсотків.

Пластична деформація графелону-20 при стисненні є високоеластичною по своїй природі. Графелон-20 відрізняється від інших полімерних матеріалів своєю великою жорсткістю та твердістю, високою ударною в'язкістю і здатністю до пластичних деформацій. Заміна базового матеріалу накладок заспокоювача натяжного башмака на матеріал графелон-20 газорозподільного механізму обумовлена його здатністю витримувати знос, удари від тертя та високі температури в межах 180–320 °С. Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей зазначених матеріалів наведена в таблиці 3.1 [6,7].

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні показники пресованих\* і литих\*\* зразків графелону-20 і каучуку СКН-40

Показники	Графелон-20*	Графелон-20**	Каучук СКН-40
Температура крихкості, °С	мінус 80	мінус 80	мінус 23
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,32	–	0,986
Міцність, МПа, при розтягу	80–90	140–175	29–32
згині	150–180	200–220	–
стиску	260–290	300–330	–
Модуль пружності, МПа, при стиску, згині	4–5 5,2–5,8	– –	2–2,5 –
Відносне видовження при розриві, %	5–8	–	600–700
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	20–30	70–100	–
Теплостійкість за Віка, °С	290	290	–

Показники таблиці підтверджують, що матеріал графелон-20 по своїм механічним та фізичним показникам суттєво переважає параметри каучуку СКН-40.

Коли цей матеріал нагрівати міцність залишається достатньо високою. Границя текучості при стисненні за температури 250 °С для графелону-20 відповідає 100 МПа. Високу втомну міцність графелону-20 обумовлюють пластичність та жорсткість. Це свідчить про те, що графелон-20 за втомною міцністю перевищує капролон в 1,5 рази при навантаженні  $2 \cdot 10^6$  циклів. За числом циклів до руйнування (при однаковому навантаженні) перевищує в декілька сотень разів. Слід відмітити також, що графелон-20 є достатньо жорстким та має незначну повзучість. Швидкість деформації залишається невеликою навіть при високих температурах. У таблиці 3.2 наведена повзучість при стиску та відновленні графелону-20.

Таблиця 3.2 – Повзучість при стиску і відновленні графелону-20

Показники	Температура дослідження, °С		
	20	200	250
Повзучість за 100 год, %	0,56*	0,68*	1,35*
	1,60**	2,10**	13,30**
Відновлення за 100 год, %	0,04*	0,42*	1,00*
	0,13**	0,45**	5,61**

\*– напруження стиску 10 МПа;

\*\*– напруження стиску 50 МПа.

В діапазоні температур експлуатації графелону-20 від 5 до 250 °С коефіцієнти лінійного розширення та теплопровідності є достатньо стабільними (таблиця 3.3).

Графелон-20 відрізняється високою стійкістю до зносу при підвищених температурах та навантаженнях, що є його характерними особливостями. Крім того, варто зауважити, що він також проявляє достатньо значну довговічність під час роботи з мінеральними мастилами. Окрім того, Графелон-20 ефективно застосовують при питомому навантаженню до 5 МПа без мащення та 25 МПа зі змащуванням при швидкості ковзання до 3 м/с.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У графелону-20, при відсутності мащення, спостерігається високий коефіцієнт тертя. Проте варто відзначити, що це значення коефіцієнта залишається стабільним в широкому діапазоні температур.

За зносостійкістю графелон від 2 до 10 разів переважає такі матеріали, як масляніт, АТМ-2, АМС-5, Ф4К20 [6,7].

Таблиця 3.3 – Залежність коефіцієнтів лінійного розширення та теплопровідності графелону-20 від температури

Показники	Температура дослідження, °С								
	5	75	100	125	150	175	200	225	250
Коефіцієнт лінійного розширення, $\cdot 10^{-6}, 1/^{\circ}\text{C}$	20,7	22,7	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	33,1
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,876	0,903	0,917	0,953	0,980	0,990	1,09	1,12	1,12

Дослідження графелону-20 у мастилi полігліколь Орiтес-210 ДС показали, що при ковзанні по поверхні нержавіючої сталі у нього найвища зносостійкість. При ковзанні по поверхні вуглецевої сталі, зносостійкість графелону-20 трохи зменшується. Однак, зі зростанням твердості вуглецевої сталі, зносостійкість матеріалу наближається до зносостійкості при ковзанні по поверхні нержавіючої сталі. Діапазон конструкційної роботоzдатності матеріалу графелон-20 за навантаження до 50 МПа знаходиться в межах 293–473 К, а при навантаженні до 20 МПа в області температур 473–523 К.

Аналізуючи результати отриманих трибологічних досліджень, можна зробити висновок, що матеріал графелон-20 за зносостійкістю переважає матеріал каучук СКН-40 у 5,4 рази [6,7].

Важливо відмітити таке твердження, що графелон-20 практично не набухає, що вироби з цього матеріалу не змінюють розмірів при витримці в середовищі більшості вуглеводнів та в інших органічних рідинах. Графелон хімічно стійкий до багатьох речовин при підвищених температурах за виключенням нафтилу.

Матеріал графелон-20 володіє достатньою стійкістю до розбавлених мінеральних кислот та лугів. Концентровані кислоти та луги його розчеплюють. Особливо це має місце при підвищених температурах.

Графелон містить амідні зв'язки у своїх макромолекулах, що призводить до його здатності абсорбувати вологу з повітря та збирати воду під час занурення у воду або водних розчинах. Вологопоглинання за одну годину за температури 373 К складає 0,3 відсотки. Набухання графелону-20 у воді за температури 295 К за 5000 годин не перевищує 3,1 відсотки.

Ароматичний поліамід фенілон С-2, на основі якого створений графелон-20 та ароматичний поліімід ПМ-69 переважають більшість промислових пластмас за механічними характеристиками. Фенілон С-2 має деякі недоліки, зокрема, через наявність амідних зв'язків у його макромолекулах, він здатний абсорбувати вологу з повітря та поглинати воду, коли знаходиться у воді та водних розчинах. Швидкість сорбції значно зростає при підвищенні температури. Коефіцієнт дифузії змінюється від  $10^{-11}$  за 20 °С до  $10^{-8}$  за 100 °С. Проте рівноважна кількість вологи, що поглинається не залежить від температури та складає для фенілону С-2 9–10 масових відсотки. При поглинанні води фенілоном С-2 вироби зазнають помітного збільшення розмірів. Однак, приріст об'єму виробів завжди менше, ніж об'єм поглиненої вологи. Так, до прикладу: Фенілон С-2 за рівноважного поглинання 12,7 об'ємних відсотків змінює власний об'єм на 5,5 відсотків. Лінійні розміри виробів при цьому збільшуються на 1,5–2,0 відсотки. Також проведені дослідження показали, що при випробуванні на ударну в'язкість зволжених зразків фенілону С-2 було виявлено зменшення крихкості при збільшенні

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

кількості сорбованої вологи. Суттєва перевага ароматичного поліаміду ПМ-69 перед ароматичним поліамідом фенілоном С-2 полягає в тому, що він має значно менше водопоглинання, яке знаходиться в межах 0,2–0,3 масових відсотки.

Для поліаміду фенілону С-2 та поліаміду ПМ-69 рекомендується використовувати модифікуючі добавки, такі як вуглецеві волокна, нітрид бору, графіт, фторопласт-4 та інші наповнювачі [6–10]. Досліджено, що ароматичний поліамід фенілон С-2, модифікований графітом С-1 значно краще, ніж не модифікований витримує дію підвищених температур. Цей матеріал при нагріванні в меншій мірі знижується міцність та особливо жорсткість. Модуль пружності немодифікованого матеріалу за 260 °С складає тільки 40 відсотків від значення за 23 °С, в той час як модифікованого – більше 70 відсотків. При введенні наповнювача спостерігається підвищення модуля пружності та за кімнатної температури наближено до 20 відсотків. У випадку підвищення температури, цей ефект значно підсилюється: за 260 °С модуль пружності модифікованого матеріалу виявляється вищим, ніж не модифікованого вже на 120 відсотків.

Однак, міцність при стискуванні композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду фенілон С-2 при їх наповненні графітом С-1 або фторопластом-4 в кількості, що перевищує 30 масових відсотків суттєво зменшується. Щоб зберегти високу твердість та достатню міцність матеріалу, а також найбільшу зносостійкість пропонується [6,7] вводити до складу композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду фенілон С-2 та ароматичного поліаміду ПМ-69 наповнювача в об'ємі 20–30 масових відсотки.

Графелон-20 дійсно має широке застосування в різних галузях народного господарства, оскільки володіє важливими властивостями, такими як висока твердість, жорсткість, міцність, зносостійкість, пластичність і стійкість до ударних навантажень, а також висока втомна міцність. Усі ці властивості графелону-20 дозволяє використовувати його як конструкційний матеріал для

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи в широкому інтервалі температур. У багатьох випадках графелон-20 використовують для заміни металу. Така заміна використовується у тому випадку, якщо необхідно знизити масу деталей, у випадку необхідності покращення антифрикційних властивостей, для забезпечення електроізоляції, зменшення шуму, а також з ціллю полегшення отримання деталей складного профілю.

Вплив наповнювачів на механічні властивості графелону досить значний. Введення наповнювачів достатньо підвищує твердість, міцність на стиснення, модуль пружності графелону, проте знижує міцність при згині та ударну в'язкість. Перелік наповнювачів для графелону такий: вуглецеві волокнисті наповнювачі, графіт, кокс, дисульфід молібдену, метали, оксиди та солі металів, а також полімерні та ультрадисперсні наповнювачі. При використанні порошкоподібних наповнювачів графелону спостерігається зменшення міцності при розтягуванні, ще більше падіння зазнає відносне подовження при розриві.

Однією із головних потреб введення наповнювачів в графелон є збільшення зносостійкості. Зносостійкість композитів, безумовно, зростає в залежності від виду та вмісту наповнювачів.

Правильно підібрана концентрація наповнювача забезпечує конкретні властивості композиту. Вміст наповнювача за об'ємом від 3 до 10 відсотків забезпечує матеріалу достатньо високі міцнісні характеристики при розтягуванні та відносне подовження при розриві, надає добрий опір багаторазовому згину, невеликий вміст пор. Проте матеріали ці мають не дуже високий опір зносу. Вміст наповнювача за об'ємом від 10 до 20 відсотків дозволяє отримати матеріали з високою зносостійкістю, які рекомендовані для використання при незначних навантаженнях та швидкостях ковзання. Вміст наповнювача в графелоні від 20 до 35 відсотків забезпечує найбільшу зносостійкість, стійкість до деформацій під навантаженням. Такі матеріали експлуатуються при високих навантаженнях та швидкостях ковзання. Тому застосовували як правило антифрикційні наповнювачі, які володіють

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

властивостями сухих змащувальних матеріалів, а саме таких як кокс, дисульфід молібдену, графіт, солі жирних кислот. Використовування традиційних наповнювачів досить часто забезпечує досягнення необхідних експлуатаційних характеристик, тому застосування композитів графелон в промисловості є досить частим явищем.

Використання дисперсних частинок вуглеграфітових волокон типу Урал та тканин типу УТМ-8, ТГН-2М або їх аналогів як модифікаторів дозволило досягти значного підвищення основних фізико-механічних характеристик. Заходячи від сферичної форми до волокноподібної, форма фрагментів наповнювача, модифікатор відтепер сприяє значному підвищенню твердості композиції та здатності витримувати більше навантаження. В якості модифікаторів застосовують різні типи волокон, а саме: від окремих фрагментів волокон до тканин.

Коли вводиться в полімер короткі волокна з високомодульних матеріалів, механічне навантаження розподіляється між матрицею та модифікатором, тому основні механічні властивості композиту стають значно ліпшими у порівнянні з властивостями матриці [5,6].

Досить поширеним способом модифікації полімерів є використання як антифрикційних наповнювачів нетрадиційних компонентів: твердих речовин в ультрадисперсному стані. Застосування методів плазмо-механохімії та детонаційного синтезу дозволяє отримувати такі наповнювачі. Однак через їх високу вартість та енергоємність процесу отримання, застосування цих модифікаторів обмежене. Використання ультрадисперсних наповнювачів полімерів дозволяє досягти максимальної зміни структури матриці на різних рівнях і забезпечити отримання полімерів зі специфічними електричними, оптичними та механічними властивостями, які значно відрізняються від типових композитів.

Ультрадисперсні наповнювачі (УДН) - це макроскопічні комплекси мікроскопічних частинок, що мають розміри від 1 до 100 нм. Властивості цих

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модифікаторів в значній мірі відрізняються від властивостей матеріалів в звичайному стані. Матеріали з ультрадисперсними модифікаторами володіють унікальним поєднанням магнітних, теплових, механічних, електричних, сорбційних та радіопоглинаючих властивостей, які неможливо знайти в інших матеріалах. Подібні властивості пов'язані з розмірами ультрадисперсних наповнювачів. Вище перераховані властивості реалізуються, коли розміри частинок менше 100 нм [8].

При температурі 300 °С поліамід фенілон ароматичний має аморфну структуру. Підвищення температури призводить до процесу розм'ягчення, а в діапазоні температур 340-360 °С відбувається кристалізація. Плавлення даного матеріалу відбувається при температурі 430 °С. При створенні композиційних матеріалів використовуються різноманітні модифікатори, схеми армування та матриці, що дозволяє здійснювати цілеспрямоване регулювання міцності, жорсткості та інших властивостей шляхом відповідного підбору складу та зміни співвідношення компонентів. В роботі [8] представлені результати досліджень впливу металовмісних вуглецевих волокон Me-BB на структуру та механічні властивості вуглепластиків на основі ароматичного поліаміду фенілон С-2, стійкого до температур. Використання металовмісних вуглецевих волокон забезпечує підвищення міцності на 10 відсотків в порівнянні з вихідним полімером, це пояснюється впливом вуглецевих волокон, активованих наночастинками металу, на структуру матриці. У спектрах композитів, які містять наповнювач Me-BB (можливо, металевий оксид вольфраму), спостерігаються значні зміни в смугах поглинання, що відносяться до коливань амідних груп. Це свідчить про значний вплив наповнювача на структуру полімеру, причому цей вплив здійснюється через амідні фрагменти. Рішення таких завдань передбачає прогнозування властивостей матеріалу та діагностики його стану [6,7]. Питання якості та надійності матеріалів, виробів і конструкцій з них є однією з найбільш актуальних проблем сучасного науково-технічного розвитку.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

В основному, до групи термостійких та теплостійких полімерів належать гетероциклічні ароматичні або змішані сполуки, які проявляють високі теплофізичні та фізико-механічні характеристики. До категорії термостійких та теплостійких полімерів входять різноманітні сполуки, такі як складні поліетери, поліарилентерефталати, полікарбонати, флуорхлорвмісні полімери, поліфенілени, поліарилени, поліфеніленсульфіди, поліфеніленетеросульфони, поліксилілени, ароматичні складні поліетери, повністю ароматичні або змішані поліаміди, повністю ароматичні або змішані полііміди, поліамідоіміди, полібензімідазоли, полібензоксазоли, поліоксадіазоли, поліхіноксаліни, піррони, полікарбазоли, арилфосфоровмісні полімери, арилметаловмісні полімери, спіранові полімери, спірооксетанові полімери, поліазопорфірини, полімери напівоксидів карбону, полісиліційоксиди та інші [8–12].

За [10,12] термічна стабільність високотермостійких полімерів зменшується в ряду гетероциклічних сполук: полібензімідазоли > полібензоксазоли > полііміди > піррони > ароматичні поліаміди > поліоксадіазоли.

Фізико-механічні властивості зразків політетрафторетилену, ароматичного поліаміду та полііміду за кімнатних температур, отриманих методами пресування та прес-лиття наведені у таблиці 3.4.

Полііміди — це ароматичні гетероциклічні полімери. Ланцюг макромолекул містить амідні цикли та ароматичні ядра, з'єднані гнучкими зв'язками — O—, —CO—. Залежно від структури полііміди можуть бути термопластичними та термореактивними [13,14]. Термопластичні пластмаси полііміди мають високі механічні та електричні характеристики, при нагріванні до 250 °C стійкі. Окрім того, ці полімерні матеріали здатні витримувати значні ударні навантаження та є морозостійкими.

Температура застосування виробів з поліімідів знаходиться в межах від мінус 200 до плюс 350 °C. Короткочасно до плюс 400 °C.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Фізико-механічні властивості зразків ПТФЕ, ароматичного поліаміду фенілон і поліаміду за кімнатних температур [8–12]

Характеристика	ПТФЕ фтороплас т-4	Ароматичний поліамід фенілон			Поліамід ПМ-69
		С-1	С-2	П	
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2150–2220	1330	1330	1330	1370–1420
Міцність (МПа):					
• під час розтягу	14–35	100	120	100-150	118–183
• під час згину	14–18	150	200	130-150	210–229
• під час стиску	10–12	220	220	210-230	210–220
Подовження під час розриву, %	250–500	5	6,6	4	4-7
Модуль пружності (МПа):					
• під час стиску	700–800	3200–3	3000–3	3000–3300	2060–2260
• під час згину	470–850	300	200		2414–4415
		–			
Питома ударна в'язкість, (кДж/м <sup>2</sup> ):					
• без надрізу	> 100	20	35	20	110
• з надрізом (за Ізодом)	–	–			5
Твердість НВ, МПа	30–40	180	220	180	200–270
Теплостійкість за Віка, К	373–383	548	563	543	–
Температура (К):					
• крихкості	< 4	193			–
• склування	153	543	543	543	470–630
• топлення	590	703	703	703	> 673
• розкладу	> 688	> 695			> 695
Коефіцієнти:					
• лінійного термічного розширення, (× 10 <sup>-5</sup> ) К <sup>-1</sup>	25	3,13	–	3,5	2,3–5
• теплопровідності, Вт/(м К)	0,24	0,28	0,25	0,18	0,3
• питомої теплоємності, кДж/(кг К)	1,05	1,43	1,34	1,4	1,12

Самі поліаміди є хімічно та водостійкими. Вони не розчиняються в переважній більшості органічних розчинників, на них не діють розбавлені кислоти, мінеральні мастила. Концентровані кислоти і луги, а також перегрітий водяний пар приводять до руйнування поліамідів.

Поліамідні матеріали використовуються для виготовлення лаків, клею та інших конструкційних матеріалів. Вони також використовуються для створення електроізоляційних плівок товщиною від 5 до 100 мкм і більше. У промисловості поліаміди широко застосовуються як чисті матеріали, так і з наповнювачами, такими як термостійкі наповнювачі, зокрема скловолокно. Деталі з поліамідів можуть бути виготовлені за допомогою лиття під тиском або ж пресуванням.

Ароматичні поліаміди відзначаються високими температурами склування та плавлення. Вони мають високу температуру тривалої експлуатації, високу радіаційну та хімічну стійкість, а також інші цінні властивості. Це робить їх особливо використовуваними для виробництва деталей та вузлів, які піддаються жорстким режимам експлуатації. Поліаміди мають хороші антифрикційні властивості. За значенням коефіцієнта тертя вони поступаються лише фторопластам, проте зносостійкість та здатність нести навантаження у поліамідів значно вища, ніж у фторопластів.

Введення антифрикційних наповнювачів, наприклад, графіту, дисульфиду молібдену, ще більше підвищує зносостійкість поліамідів та знижує коефіцієнт тертя у 1,5 рази [15].

Поліаміди, які поєднують високу механічну міцність з хорошими антифрикційними властивостями, корозійною і хімічною стійкістю, а також електроізоляційними властивостями, вважаються одними з найважливіших конструкційних матеріалів. З використанням поліамідів виготовляють шестерні, вкладиші підшипників, втулки, ролики, муфти, повзуни, лопаті гребних гвинтів, вентиляторів, деталі електроізоляційного призначення,

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

медичні інструменти. Підшипники та інші деталі вузлів тертя із поліамідів можуть працювати без або при змащуванні водою. Деталі з наповнених графітом, тальком та дисульфідом молібдену полімерів здатні до самозмащування. Для наповнення поліамідів використовують також скловолокно та склосфери, вуглецеві волокна. Широко застосовують в промисловості комбіновані наповнювачі [16].

Значне застосування знайшли поліімідні матеріали фірми «Monsanto» (США), що випускаються під назвою Skybond. Це розчини фторполімерів на основі діангідриду бензофенонтетракарбонової кислоти і діамінодифенілметану або діамінодифенілового ефіру в різних розчинниках. Смоли Skybond застосовують для виготовлення високоміцних склопластиків та пінопластиків для тривалої експлуатації при температурах до 643 К.

Поліімідні матеріали широкого застосування Pyralin розроблені фірмою «DuPont». Вони використовуються як звязуючі для склопластиків та фольгованих матеріалів, а також як герметизуючі покриття, емалі та клеї. Міцність таких склопластиків на згин при температурі 293 К досягає 430 – 520 МПа. Після теплового старіння на протязі 3000 – 4000 годин при температурі 533 К міцність на згин таких пластиків зменшується на 60 відсотків.

Швидкими темпами розвивається виробництво поліімідів в Японії [17]. Фірма «Тогау» виготовляє поліімідний композит ТІЛ, що застосовується в основному для друкувальних плат. Цей матеріал також можна використовувати в якості ізоляційного загального призначення, основи електричних опорів, для виготовлення абразиво- та зносостійких деталей. Вартість ламінатів на основі ТІЛ складає 15–18 доларів за 1 кілограм. Це дозволяє їм конкурувати з ламінатами на основі епоксидних та фенольних смол.

Фірма «Toshiba» виготовляє також широкий асортимент поліімідних матеріалів типу ТІ, що переробляються прямим та литтєвим пресуванням. Ці матеріали застосовують для виготовлення друкувальних схем, поршневих кілець компресорів та вимикачів комп'ютерної техніки.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі бісмалеїніміду фірма «Toshiba» розробила матеріали Imidaloy. Модифіковані різними наповнювачами, вони знаходять застосування в різних галузях промислового виробництва. Деталі у вузлах тертя з цих матеріалів ефективно працюють при температурах до 473 К.

Проведений аналіз фізико-механічних властивостей термостійких полімерів підтвердив, що ароматичний поліїмід ПМ-69 володіє кращими фізико-механічними характеристиками у порівнянні з іншими полімерними матеріалами. Крім того, він також проявляє значно менше волопоглинання в порівнянні з ароматичним поліамідом Фенілоном С-2. Тому актуальним є проведення досліджень та розробка полімерних композиційних матеріалів, які базуються на ароматичному поліїміді ПМ-69, з метою використання їх для виготовлення пластин натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.

3.2 Розробка технологічного процесу виготовлення лабораторних зразків і пластин натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання з матеріалу графелон-ПМ

Технологічна схема процесу формування складу, структури та властивостей полімерного композиційного матеріалу графелон наведена на рисунку 3.1.

Графелон – це полімерний композиційний матеріал на основі аліфатичного та ароматичного поліамідів, складних ароматичних полієфірів, важких ароматичних полієфірів, пентапласту, полікарбонату, поліформальдегіду та його сополімерів, поліїмідів, поліхіноксалинів, поліфенілхіноксалинів, поліоксадіазолів, полібензоксазолів, поліфениленоксидів, поліфениленсульфідів і поліфениленсульфонів чи їх сумішей та основного наповнювача – вуглецевого волокна, отриманого за

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

спеціальною технологією, модифікованого спеціальними добавками, що має задане розподілення за довжинами [6,7].

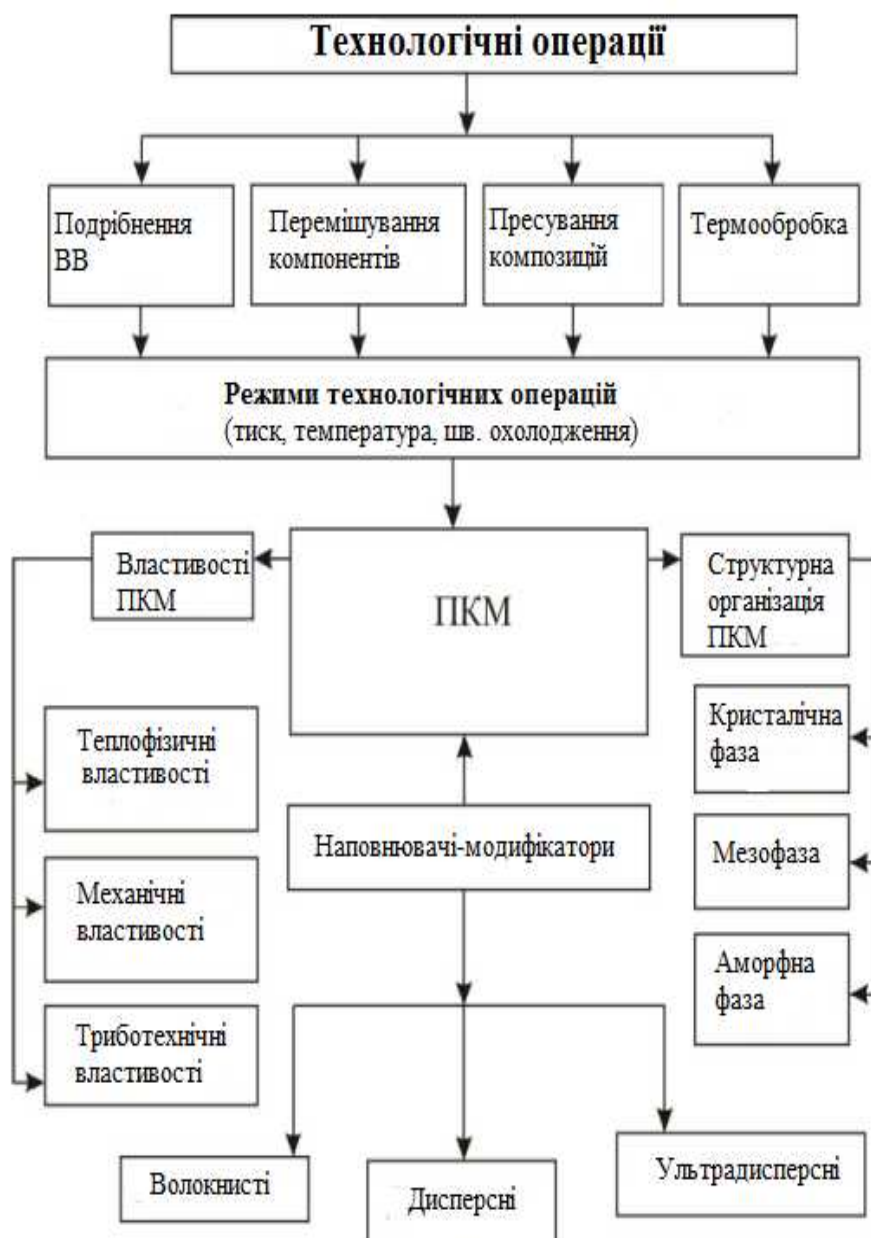


Рисунок 3.1 – Технологічна схема процесу формування складу, структури і властивостей полімерного композиційного матеріалу графелон-ПМ

### 3.2.1 Формування складу композиційного матеріалу

Склад графелону включає багатокомпонентні елементи, такі як дисперсні тверді мастила або комплекси твердих мастил, порошкові термопластичні

полімери, вуглецеві волокна з різними властивостями, суміші вуглецевих волокон з жаростійких матеріалів або металів та органічних термостійких полімерів, термостійкі рідини, алюмосилікати та окиси металів, антиокислювальні добавки.

Графелон має властивості високої стійкості до зношування при високих температурах і навантаженнях, високі фізико-механічні властивості, малу повзучість і залишкову деформацію, а також підвищену довговічність при використанні в мінеральних мастилах.

### 3.2.2 Подрібнення і змішування компонентів композиції

Подрібнення та змішування складових компонентів графелону виконували у млинку МРП-1 з подовими ножами при 7000 обертів ножів за хвилину протягом шести хвилин. Діаметр ножів 0,205 м, частота обертання ножів  $117 \text{ c}^{-1}$ , максимальна лінійна швидкість 75 м/с. З метою підвищення структурної активності та запобігання утворенню агломератів, наповнювачі композиції було активно механічно змішано. Після змішування, композицію сушили в термошафі протягом однієї години при температурі 100–120 °С.

Технологічний процес виготовлення лабораторних зразків, пластин заспокоювача та натяжного пристрою складається з наступних операцій: брикетування або холодне пресування, гаряче пресування та термообробка виробів згідно розроблених режимів.

### 3.2.3 Брикетування (холодне пресування) композиційного матеріалу

Досить часто, ароматичні порошкоподібні полііміди отримуються емульсійною поліконденсацією, вони мають низьку насипну щільність у межах 0,15–0,25 г/см<sup>3</sup>. Для деталей невеликих розмірів завантаження порошку в прес-форму необхідно робити при значно більших розмірах камери, ніж готовий

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

виріб. Як правило, застосовують низьку завантажувальну камеру, в яку закладають відпресований матеріал у вигляді заготовок, що отримані завчасним пресуванням порошку при кімнатній температурі. Отже, крім зменшення габаритів заготовок забезпечується краще прогрівання відпресованого матеріалу за рахунок збільшення теплопровідності. Перевага відпресованого матеріалу в тому, що немає потреби його розрівнювати за високої температури. Також при перенесенні заготовок у форму для пресування вони менше поглинають вологу в порівнянні з порошковою композицією. Міцність заготовок зі щільністю  $0,45 \text{ г/см}^3$  є достатньо велика.

При виготовленні заготовки, яка подібна до виробу, необхідно враховувати, що її розміри при вийманні з форми, а особливо під час сушки, збільшуються на 1,5–2 відсотки у порівнянні з розмірами форми, в якій виконується брикетування. Тому розміри форми для брикетування повинні бути враховані при проектуванні форми для гарячого пресування.

Форми для холодного пресування повинні бути зі значною висотою завантажувальної камери, з врахуванням наважки порошку. Не рекомендується додатково підпресовувати матеріал, тому що це може привести до втрати міцності, так як на готовому виробі при цьому появляються смужки з неоднорідними властивостями.

Такі неоднорідності у виробках виникають, якщо використовувати суцільні заготовки великих розмірів. Окрім погіршення вигляду отриманих заготовок (втулок, пластин, циліндрів) знижуються їх механічні характеристики. У цьому випадку масивні суцільні заготовки не мають можливості для достатнього розтікання та на межі окремих шарів утворюються границі. Також щільність виробів отриманих холодним пресуванням на 60 відсотків менша в порівнянні з заготовками гарячого пресування. У цьому перевага виготовлення масивних заготовок при гарячому пресуванні. При холодному пресуванні заготовок виробів малих розмірів великої товщини прес-порошок потрібно ретельно розрівняти.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2.4 Гаряче пресування і термообробка виробів

Режими технологічних операцій.

Заготовки лабораторних зразків та пластин натяжного пристрою композиційного матеріалу на основі ароматичного полііміду графелон-ПМ виготовляли відповідно до рекомендованої послідовності.

Для цього пресувальну композицію засипали у форму, підтримуючи тиск 30–35 МПа. Далі нагрівали полімерний матеріал при відсутності тиску до температури 340–345 °С, підтримуючи цю температуру 5 хвилин. Потім прикладали тиск 45–50 МПа на протязі 5 хвилин. Наступним етапом було охолодження полімерного матеріалу до температури 200–220 °С, підтримуючи тиск 45–50 МПа. Після охолодження заготовки, при відсутності прикладеного тиску, до температури 70–80 °С її виймали із форми. Виготовленні зразки перевіряли на міцність стисненням згідно ГОСТ 33519–2015.

Для запобігання термічної деструкції композиції на основі ароматичного полііміду перед нагріванням до високої температури ретельно висушували від вологи. Частіше всього пресований матеріал підсушують після холодного пресування. Для сушки матеріалу графелон-ПМ можна нагрівати на повітрі до порівняно високих температур, тому більш доцільно застосовувати звичайні сушильні шафи, а не складні вакуумні сушарні.

На якість виробів у великій мірі впливає режим сушіння. Для здатних до кристалізації полімерів, при переробці знижують температуру, так як при високих температурах виникає впорядкованість структури полімеру, що приводить до збільшення ламкості готових деталей.

Таким чином, температуру гарячого пресування ароматичних поліімідів необхідно корегувати згідно експериментальної температурної залежності, яка впливає на міцність виробів. Для полімерних композицій, що кристалізуються, вибір температури визначається порогом зниження в'язкості розплаву. Для

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

досягнення максимальних необхідних характеристик композиційного матеріалу графелона-ПМ була встановлена оптимальна температура пресування, яка становить 345 °С. При цій температурі досягаються найвищі показники міцності виробів і ударна в'язкість.

Для того, щоб полімер не поглинав вологу, суху заготовку після холодного пресування переміщують у форму, нагріту до температури трішки вище 100 °С.

При цьому недоцільно суху заготовку після холодного пресування поміщати у максимально нагріту форму гарячого пресування, оскільки це збільшує загальний час прогрівання. А також одночасне нагрівання заготовки та форми сприяє підсушуванню полімеру додатково.

Є випадки, за яких завантаження композиційного матеріалу у форму відбувається за високої температури. Це має місце у випадку не великих швидкостей нагрівання форми, з метою зменшення терміну перебування композиційного матеріалу при високих температурах, що негативно впливають на якість виробів. Для встановлення оптимального часу рівномірного прогрівання пресованого матеріалу по всьому об'єму необхідно враховувати такі фактори, як характеристики температуропровідності композитів, розміри та форму виробів, а також початкові температури заготовок і пресформи.

Якщо матеріал, який піддається пресуванню за температури  $T_a$  у вигляді заготовки з розмірами, що є ідентичними внутрішнім розмірам форми, завантажується у форму, нагріту до постійної температури  $T_0$ , то час нагріву середньої частини заготовки до заданої температури  $T_m$  можливо оцінити за допомогою формули (3.1), яку застосовують для плоскопаралельної нескінченної пластини:

$$\tau_{пл} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\left(\frac{S}{2}\right)^2}{a_T} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right) \quad (3.1)$$

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

та для випадку безкінечної довжини циліндра:

$$\tau_{ц} = \frac{r^2}{5,79 \cdot a_T} \cdot \ln \left( 1,6 \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m} \right), \quad (3.2)$$

де  $\tau_{пл}$  і  $\tau_{ц}$  – час прогрівання середини зразка, год;  $S$  і  $r$  – товщина пластини та радіус циліндра, м;

$a_T$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/год.

Позначення у цій формулі:

$$\theta_a = T_o - T_a; \theta_m = T_o - T_m. \quad (3.3)$$

Для попередньо вибраних параметрів:

$a_T = 6,89 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/год,  $T_o = 350$  °С,  $T_a = 200$  °С та  $T_m = 345$  °С розраховували тривалість прогрівання. Ці параметри відповідають умовам пресування графелона-ПМ та наведені у таблиці 3.5.

Під час нагрівання пресувального матеріалу під тиском може спостерігатись скорочення терміну прогрівання. Якщо під час застосування тиску температура перевищує температуру склеювання композитного матеріалу, пресувальний матеріал стає монолітним, збільшується його коефіцієнт теплопровідності, а товщина зменшується.

Таблиця 3.5 – Розрахункові значення тривалості прогрівання при пресуванні пластини або циліндра з графелону-ПМ

Товщина плоского брикету або радіус циліндра, мм	6,0	10,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0
Тривалість прогрівання пластини, год	0,019	0,054	0,215	0,335	0,483	0,858	1,341
Тривалість прогрівання циліндра, год	0,035	0,097	0,388	0,606	0,873	1,552	2,425

Зразки, які отримують пресуванням, в більшості випадків мають близькі розміри в різних напрямках. При цьому теплообмін відбувається по всій зовнішній поверхні пресувального матеріалу і приводить до більш швидкого прогрівання порівняно з пластиною, що має нескінченні розміри.

Як було встановлено, термін нагріву зменшується, якщо композиційний матеріал вносити у форму за низької температури та одночасно з формою нагрівати. При нагріванні пресувальної форми з постійною швидкістю різниця температур в центрі зразка та на його поверхні визначається для циліндра за формулою (3.4):

$$\Delta t = \frac{\omega r^2}{4a_T} \quad (3.4)$$

для пластини 
$$\Delta t = \frac{\omega \delta^2}{8a_T} \quad (3.5)$$

де  $\Delta t$  – перепад температур, °С;  $\omega$  – швидкість нагрівання форми, °С/год;  $\delta$  і  $r$  – товщина пластини і радіус циліндра, м;  $a_T$  – коефіцієнт теплопровідності, м<sup>2</sup>/год.

Розрахунок показує, що зміна температур для швидкостей нагрівання 5 – 10 °С/хв в декілька разів менша у порівнянні зі зміною у випадку, коли заготовку переміщують у пресувальну форму, що нагріта до максимальної температури.

Обов'язково необхідно прийняти до уваги, що при одночасному нагріванні композиційного матеріалу та пресувальної форми до температури пресування, тільки в центрі зразка температура відрізняється на величину, яка розраховується за формулами (3.4 і 3.5) від температури більш нагрітих інших шарів матеріалу. Таким чином, при цьому буде значним і вигащ у часі.

Для вибору оптимального тиску пресування проводилися дослідження, що виявили залежність показників міцності виробів від застосованого тиску  $P_{пр}$ . Проте, важливо уникати використання завищених тисків під час пресування,

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки це може призвести до збільшення внутрішніх напружень у виготовлених зразках. Особливо це стосується випадків з високою в'язкістю розплаву ароматичних поліімідів, де релаксація внутрішніх напружень ускладнена. Значення цих напружень зростають зі збільшенням тиску пресування. Тому рекомендується уважно підбирати оптимальний тиск для забезпечення необхідних властивостей без зайвого підвищення внутрішніх напружень. Таким чином, при пресуванні зразків простої форми з невеликими розмірами висотою до 15 мм, тиск  $P_{np}$  повинен складати 40–50 МПа. При пресуванні ароматичних поліімідів температура, при якій прикладається тиск, залежить від комплексу факторів. Одним із них є необхідність додаткового підсушування композиційного матеріалу, що нагрівається у пресувальній формі. У цьому випадку для полегшення виходу вологи з полімеру його нагрівають до температури пресування  $T_{np}$  без прикладання тиску. Це сприяє також видаленню летких продуктів часткового розпаду полімеру.

В той же час, прикладання тиску при температурі нижчої  $T_{np}$ , покращує теплопередачу від стінок форми і при досягненні температури розм'ягчування приводить до зменшення товщини зразка, це відповідно прискорює його прогрів. Таким чином, вибір оптимальної температури, при якій застосовується тиск до пресувального матеріалу, залежить від типу виробів, умов обробки і вимог, які ставляться до них. Цей вибір потребує проведення окремих досліджень з метою з'ясування оптимальних параметрів температури та тиску для досягнення бажаних характеристик та властивостей продукту.

Термін витримування під тиском визначається необхідністю повного прогрівання композиційного матеріалу та часом, який затрачається на формування виробу. При нагріві полімерного матеріалу до температури  $T_{np}$  час формування виробів найбільш складних конфігурацій становить до 5 хвилин.

Полімерний композиційний виріб перед вилученням з пресувальної форми необхідно охолодити до температури нижче температури склування  $T_c$ . Однак, в деяких випадках тиск можна зменшити і при більш високих

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурах, причому такий режим охолодження сприяє релаксації та зменшенню внутрішніх напружень у виробі. Разом з тим, якщо тиск знімають при температурі вищій  $T_c$ , міцність виробу та точність розмірів знижуються, тому при високих вимогах до виробів, охолодження при переробці композиційного матеріалу марки графелон-ПМ повинно відбуватися під тиском та при повільному зниженні температури до 250 °С.

Для скорочення терміну циклу пресування рекомендується збільшувати швидкість охолодження пресувальної форми разом з виготовленим виробом. Це можна здійснити за допомогою різних методів, таких як використання активного охолодження, використання холодильних речовин або впровадження швидкого відводу тепла з форми. Швидке охолодження дозволить знизити час, необхідний для затвердіння та остаточного охолодження виробу, тим самим скорочуючи загальний час пресування. Знижують температуру стінок пресувальної форми з допомогою водяного охолодження зі швидкістю 1,5°С/с. При охолодженні обов'язково враховують, що масивні вироби в середній центральній частині охолоджуються значно повільніше. Крім того, прискорене охолодження зразків приводить до суттєвих внутрішніх напружень, а також зсідання виробу.

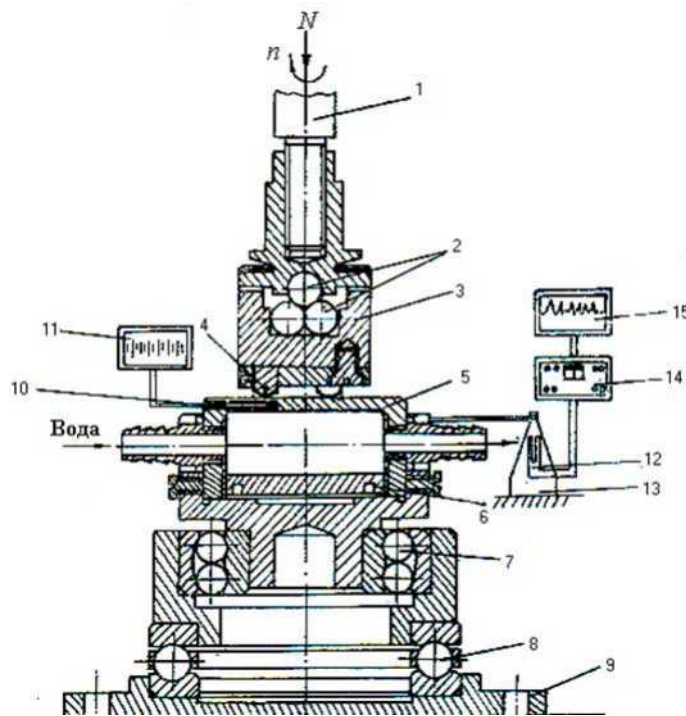
### 3.3 Дослідження зносостійкості і міцності на розтяг композиційних матеріалів

#### 3.3.1 Методика лабораторних випробувань пар тертя

Лабораторні дослідження зносостійкості композиційних матеріалів проводили на модифікованій машині тертя ХТІ-72 (рисунок 3.2).

Регулювання швидкості ковзання здійснювали за допомогою зміни розташування шківів пасової передачі в широкому діапазоні від  $0,20 \pm 0,05$  до  $5 \pm 0,05$  м/с. Для навантаження на зразки використовували систему важелів.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – шпиндель; 2 – чотирикульова верхня опора у вигляді піраміди; 3 – циліндрична ємність; 4 – зразки; 5 – контртіло; 6 – підставка; 7 – підшипник кочення радіально-упорний (самоустановний); 8 – підшипник кочення упорний; 9 – плита; 10 – термопара ХК; 11 – потенціометр КСП-4 для запису температури; 12 – тензодавач; 13 – тензобалка; 14 – підсилювач 8АНЧ-7М; 15 – потенціометр КСП-4 для запису сигналу тензодавача (12)

Рисунок 3.2 – Схема робочої частини машини тертя ХТІ-72

Для зміни навантаження використовувалась система важелів типу аналітичних терезів. Нагрівання контртілом від подових та бокових нагрівальних елементів використовувалося для проведення досліджень за високих температур. Підвищення температури контртіла із заданою за програмою експеримента швидкістю здійснювалося при допомозі редуктора та автотрансформатора. Деталі машини тертя, які мають контакт з хімічно-активними рідинами, були виконані з нержавіючих матеріалів. Контртіла рекомендується виготовляти із суцільного матеріалу наступних розмірів:

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

діаметр  $60 \pm 0,15$  мм, товщина  $10 \pm 0,15$  мм або із порожнистого тіла діаметром  $60 \pm 0,15$  мм, висотою  $35 \pm 0,2$  мм та товщиною робочої частини  $5 \pm 0,2$  мм.

Зразки у вигляді трьох пальчиків були змінними і вставлялись у гнізда державки. Завдяки конструкції вузла тертя була забезпечена можливість вимірювати знос без необхідності розбирання державки зі зразками і без порушення контакту. Діаметр плями зносу вимірювали з точністю  $\pm 0,005$  мм за допомогою окуляра МПВ-2.

Шлях тертя досліджень був вибраний такий, щоб результат вимірювань зносу переважав похибку в 10–15 разів.

В даних дослідженнях використовували схему контакту: сферична кінцівка пальчика – площина контртіла, представлена на рисунку 3.3.

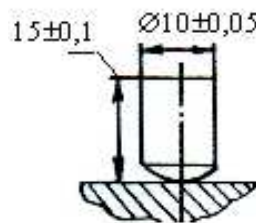


Рисунок 3.3 – Форма зразків і контакту при дослідженнях зносостійкості

Зразки схеми сфера – площина були виконані циліндричної форми з закінченням у вигляді напівсфери радіусом 6,35 мм.

Оцінка зносу зразків виконувалась за критерієм, запропонованим Левісом як питома швидкість зношування, а Ланкастером як питома об’ємна інтенсивність зношування:

$$I = \frac{\Delta h}{pvt} = \frac{\Delta V}{N \cdot S} \quad \left[ \frac{\text{мм}^3}{\text{Нм}} \right] \quad (3.6)$$

де  $\Delta V$  – зношений об’єм,  $\text{мм}^3$ ;  $N$  – нормальне навантаження, Н;

$S$  – шлях тертя, м;  $p$  – питома навантаження на зразок, МПа;  $v$  – швидкість ковзання, м/с;  $\tau$  – час випробувань, с.

Шлях тертя визначали за формулою:

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$S = K \cdot \Delta A; \quad (3.7)$$

$$\Delta A = A_k - A_n, \quad (3.8)$$

де  $K$  – коефіцієнт перерахунку;

$A_n$  – показник на спідометрі перед дослідження;

$A_k$  – показник на спідометрі після дослідження.

$$K = \frac{2\pi R_{\text{тр}} n}{\Delta A_T}, \quad (3.9)$$

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

$\Delta A_T$  – показники при таруванні на 1 км показників шкали;

$n$  – число обертів шпинделя.

Коефіцієнт тертя розраховували за наступними формулами:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} = \frac{L \cdot f}{R_{\text{тр}} \cdot N} \quad (3.10)$$

де  $F_{\text{тр}}$  – сила тертя, Н;  $N$  – нормальне навантаження, Н;

$R_{\text{тр}}$  – радіус тертя, мм;  $f$  – зусилля, що згинає тензобалку, Н;

$L$  – плече моменту тертя  $M_L = f L$ , [мм·Н].

Визначали питомий об'ємний знос за формулою:

$$I_N = \frac{\Delta V_i}{N_i} = \frac{\Delta V}{N} \cdot [\text{мм}^3/\text{Н}] \quad (3.11)$$

Інтенсивність об'ємного зношування розраховували для двох етапів шляху тертя  $\Delta S_1$  та  $\Delta S_2$ :

$$I_1 = \frac{\Delta V_{i1}}{N_i \cdot \Delta S_1}, \quad (3.12)$$

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

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

де  $\Delta V_{1i}$  – зміна об'єму  $i$ -зразка на проміжку шляху тертя  $\Delta S_1$  (перший етап дослідження відповідає нелінійній залежності зношування від шляху тертя);

$\Delta V_{2i}$  – зміна об'єму  $i$ -зразка на проміжку шляху тертя  $\Delta S_2$  (другий етап дослідження відповідає лінійній залежності зношування від шляху тертя).

Методика дослідження зносостійкості композиційних матеріалів при обмеженому мащенні включає наступні особливості. Нами застосована методика дослідження зносостійкості поршневих ущільнень з обмеженим мащенням [12]. Згідно цієї методики номінальна витрата оливи  $m_n$  для мащення поршневих ущільнень компресорів високого та надвисокого тиску визначається за формулою [12]:

$$m_n = F \cdot \dot{g} = 2\pi D_u L f_k \dot{g} t, \quad (3.14)$$

де  $D_u$  – діаметр дзеркала циліндра або штока, м;

$F$  – описана поверхня, м<sup>2</sup>;

$L$  – довжина поверхні тертя, м;

$f_k$  – частота обертання вала компресора, с<sup>-1</sup>;

$t$  – час, за який розраховується кількість оливи, с;

$\dot{g}$  – питома витрата оливи, г/м<sup>2</sup>.

Витрата мастила  $m_0$  обмеженого мащення становить певну частку від номінальної витрати  $m_n$ . Прогнозується, що заміна металевих ущільнювальних елементів на карбопластикові, засновані на термотривких полімерах, у вузлі тертя призведе до зменшення витрат мастила. Це пояснюється тим, що у полімерних композитах низькі значення модуля пружності та коефіцієнта теплопровідності, що призводить до більшої несучої площі у порівнянні з металевими елементами. Крім того, питомі навантаження на шар мастила також менші [12]. Для компресорів високого тиску більше 20 Мпа номінальна питома

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрата мастила має бути не менше 16 мг на 1 м<sup>2</sup> поверхні тертя. Ця величина прийнята за номінальну питому витрату мастила при виконанні дослідів на машині тертя ХТІ-72. Обґрунтовується це тим, що питомі навантаження в кінці тертя на шляху зносу складала 7 МПа [12].

Умови випробування зносостійкості матеріалів при терті з обмеженим мащенням від 1 до 80 відсотків відносної витрати мастила  $m_0 / m_H$ : швидкість ковзання ( $v$ ) складає 0,42 м/с; температура поверхні  $423 \pm 2$  К контртіла з вуглецевої сталі 45 твердістю  $HV = 4,6 \pm 0,2$  ГПа; початкова шорсткість поверхні  $R_{a0} = 0,3 \pm 0,05$  мкм, шлях тертя  $S_1 = 10$  км (перший етап, нормальне навантаження на один зразок  $N_{1i} = 200$ Н) та  $S_2 = 15$  км (другий етап, нормальне навантаження на зразок  $N_{2i} = 350$ Н).

При швидкості ковзання близько 1 м/с та вище, в умовах обмеженого мащення значна частина навантаження компенсується за рахунок гідродинамічних ефектів, які виникають у тонких шарах оливи. Для оцінювання цих ефектів застосовують критерій Ланкастера:

$$S_h = \frac{\eta V d^3}{N_i} \text{ м}^2, \quad (3.15)$$

де  $\eta$  – в'язкість мастила, Па·с;

$V$  – швидкість ковзання, м/с;

$d$  – початковий діаметр плями зносу, м;

$N_i$  – нормальне навантаження, Н.

Для того, щоб зменшити гідродинамічний ефект доцільно використовувати мінімальну пляму зносу та вибирати навантаження у відповідності з твердістю полімерного матеріалу, що не перевищує твердість  $1/3$  НВ. У виконаних попередніх дослідженнях гідродинамічний ефект має значення в діапазоні від 3,2 до  $0,01 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>. Ці дані стверджують, що умови ковзання в граничних режимах.

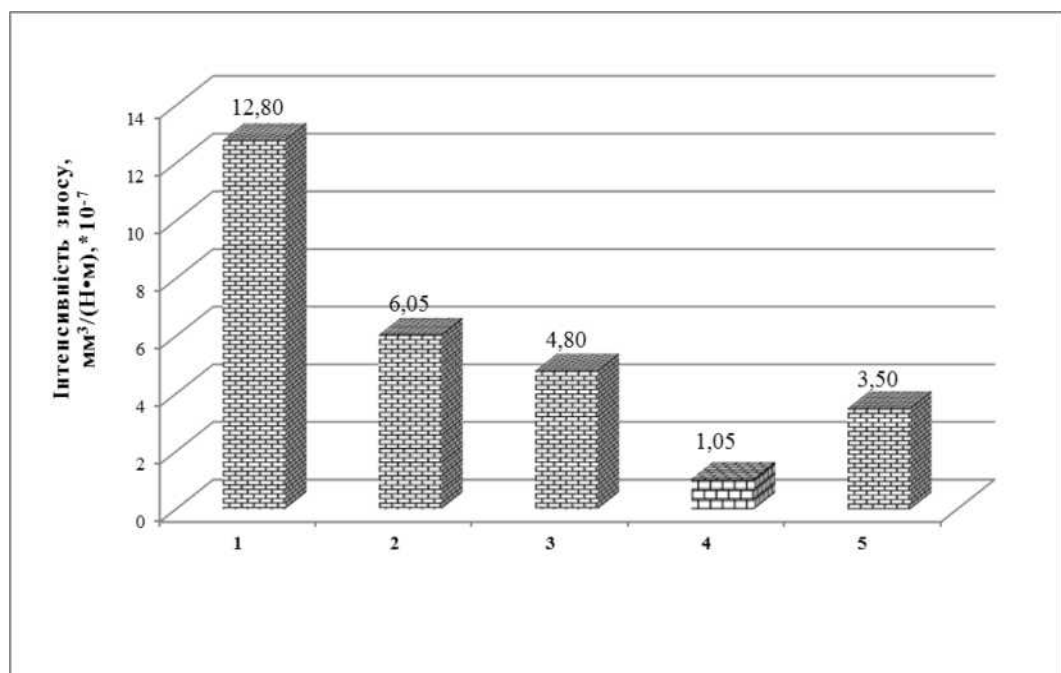
Методика дослідження зносостійкості композиційних полімерних матеріалів ущільнень поршневих компресорів дозволяє визначити оптимальну

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрату оливи, яка забезпечить полімерному композиту кращі умови роботи при обмеженому мащенні.

### 3.3.2 Дослідження зносостійкості розроблених композиційних матеріалів за схемою сфера – площина

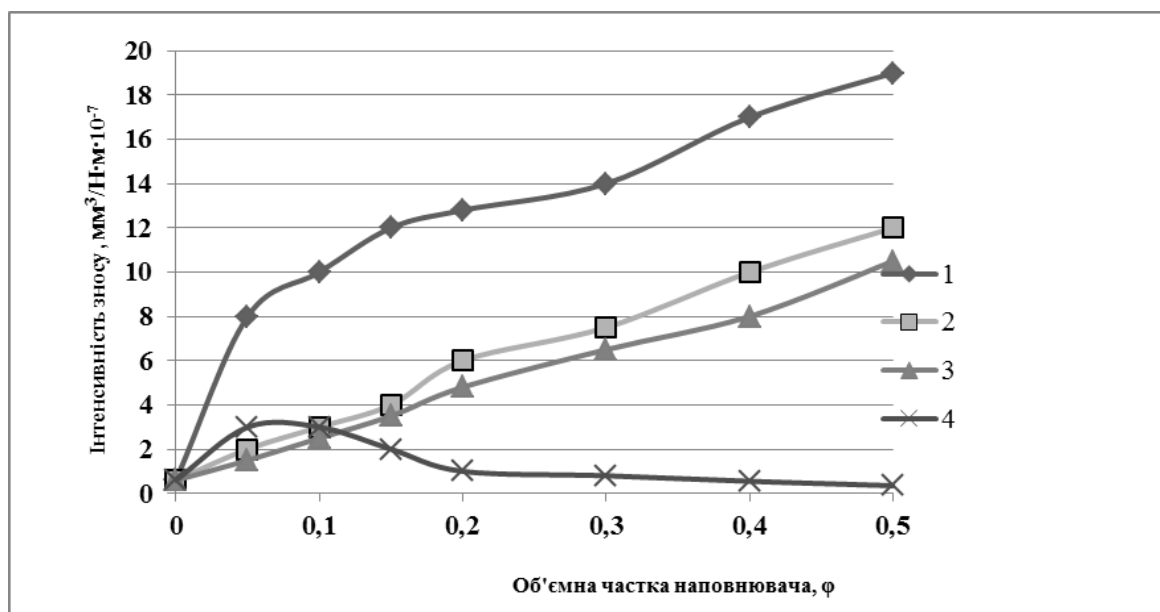
Дослідження інтенсивності зносу композиційних матеріалів на основі полііміду ПМ-69 та ароматичного поліаміду фенілон С-2 за 20 відсотків об'ємної частки в їх складі наповнювачів показали, що найбільшу зносостійкість за умов роботи з обмеженим мащенням має полімерний матеріал графелон-ПМ (рисунок 3.4, позиція 4). Матеріал графелон-ПМ за зносостійкістю переважає графелон-20 в 3,3 рази (рисунок 3.4, позиція 5).



1 – графіт С-1; 2 – кокс; 3 – графітоване волокно ТГН-2м; 4 – вуглецеве волокно УТМ-8; 5 – графітоване волокно ТГН-2м

Рисунок 3.4 – Гістограма інтенсивності зносу композиційних матеріалів на основі полііміду ПМ-69 (1–4) та ароматичного поліаміду фенілон С-2 (5) за 20 % об'ємної частки в їх складі наведених вище наповнювачів. Тертя при обмеженому 20 % мащенні оливою МС-20

Експериментально встановлено, що при об'ємному наповненні більше 10 відсотків ( $\phi > 0,1$ ) для наповнювачів з високою теплопровідністю, таких як термооброблений кокс, графіт та графітоване волокно, спостерігається збільшення інтенсивності зношування при зростанні об'ємної частки наповнювача (рисунок 3.5).



1 – графіт С-1; 2 – кокс; 3 – графітоване волокно ТГН-2м; 4 – вуглецеве волокно УТМ-8

Рисунок 3.5 – Залежність інтенсивності зносу композиційних матеріалів на основі полііміду ПМ-69 від об'ємної частки наведених вище наповнювачів ( $\phi$ ). Тертя при обмеженому (20 %) мащенні оливою МС-20

В даному випадку, аналогічно змінюється також теплопровідність полімерних композитів. Введення в поліімід ПМ-69 з коефіцієнтом теплопровідності 0,35 Вт/(м·К) вуглецевого волокна з низькою теплопровідністю 0,07 Вт/(м·К) при об'ємному наповненні більше десяти відсотків ( $\phi > 0,1$ ) приводить до зменшення інтенсивності зношування та зниження теплопровідності, але із збільшенням об'ємного наповнення.

Зменшення теплопровідності полімерного композитного матеріалу призводить до підвищення температури його поверхні порівняно з металевою поверхнею контртіла. Це призводить до збільшення гнучкості композитного матеріалу, що зумовлює збільшення площі фактичного контакту та зниження тиску в мастильному шарі. Разом з тим, зменшується ефективна в'язкість мастила на полімерній поверхні, що знижує опір переміщенню та тепловиділенню в шарі мастила. Перехід від композиційного полімерного матеріалу з високою теплопровідністю до композиційного полімерного матеріалу з низькою теплопровідністю підтверджується зниженням коефіцієнта тертя на мащених поверхнях. Використання компонентів з низьким коефіцієнтом теплопровідності в наповнювачі полімерних матеріалів допомагає досягнути цього. Зворотно, наповнення полімерних матеріалів компонентами з високим коефіцієнтом теплопровідності спричиняє збільшення коефіцієнта тертя [12].

### 3.3.3 Методика та дослідження на розтяг розроблених композиційних матеріалів

Перед початком досліджень на розтяг по три зразки кожного матеріалу витримували 16 годин при температурі  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  та відносній вологості  $50 \pm 5$  відсотків. Зразки були піддані вимірюванням у чотирьох місцях з допустимою похибкою 0,01 мм по висоті, ширині та діаметру. Для визначення поперечного перерізу зразків використовувалися найменші числові значення. Наступним кроком було розміщення зразка між опорними площадками таким чином, щоб вертикальна вісь зразка збігалася з напрямком навантаження.

Для проведення розтягувальних випробувань композиційних матеріалів у формі кілець використовувалась розривна машина МР-05-1 зі швидкістю переміщення зразка 15 мм/хв. Границю міцності на розтяг визначали за формулою 3.16. Цей показник не відображає повну характеристику

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

композиційного матеріалу, оскільки в областях роз'єму напівдисків кільця виникають як деформації згину, так і розтягу.

Зазвичай, величина цих деформацій залежить від відношення товщини стінки кільця до діаметра. Чим більше співвідношення та різниця властивостей композиційного матеріалу, тим сильніше проявляється вплив згину. Це пояснює, чому кільцеві зразки композиційних матеріалів рекомендуються для порівняльних досліджень. У таких зразках деформації згину мають більший вплив, що дозволяє краще оцінити різницю у властивостях між різними матеріалами. Тому дослідження міцності на розтяг полімерних матеріалів виконували при навантажених жорстких напівдисках, на які надіте досліджуване кільце (рис 3.6).

Границю міцності на розтяг  $\sigma_p$ , МПа визначали за формулою:

$$\sigma_p = \frac{P}{2h(R-r)}, \quad (3.16)$$

де  $P$  – розривне зусилля, Н;

$h$  – висота зразка, мм;

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

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (3.17)$$

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

Для механічних випробовувань на розтяг використовують зразки різних форм, а саме: плоскі, трубчасті та кільцеві. Основним недоліком плоских зразків є труднощі кріплення в захватах розривної машини: відбувається їх проковзування. Це пояснюється невеликою довжиною та шириною зразків. З метою ліквідації цих недоліків до зразка композиційного матеріалу

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

приварюють, або приклеюють накладки, з менш пластичного та більш жорсткого матеріалу.

Досить часто результати, що отримані для плоских і трубчастих зразків не співвимірні. Напружений стан зразків, відмінність в технології отримання є причиною цього. В трубчастих зразках концентрація напружень відбувається біля захватів. Розподіл напружень в плоскому зразку відрізняється від такого ж в трубчастому, тому результати таких досліджень неможливо порівнювати між собою. За допомогою кільцевих зразків є можливість дослідити ступінь натягу волокон, їх викривлення та наявність напружень внутрішніх композиційних карбопластиків.

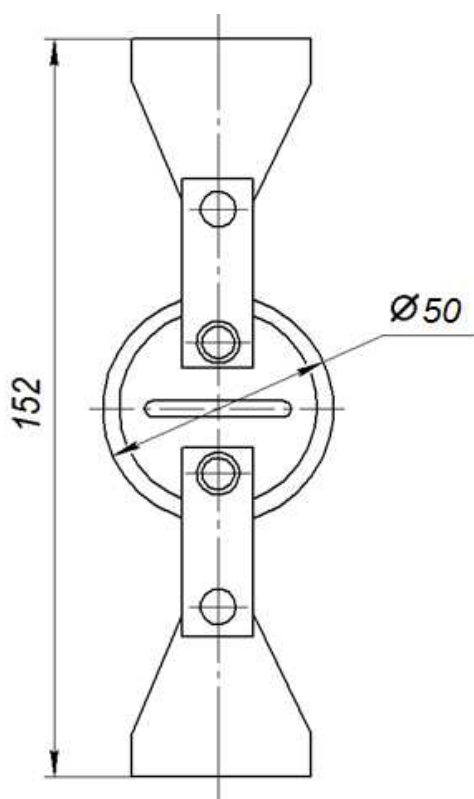
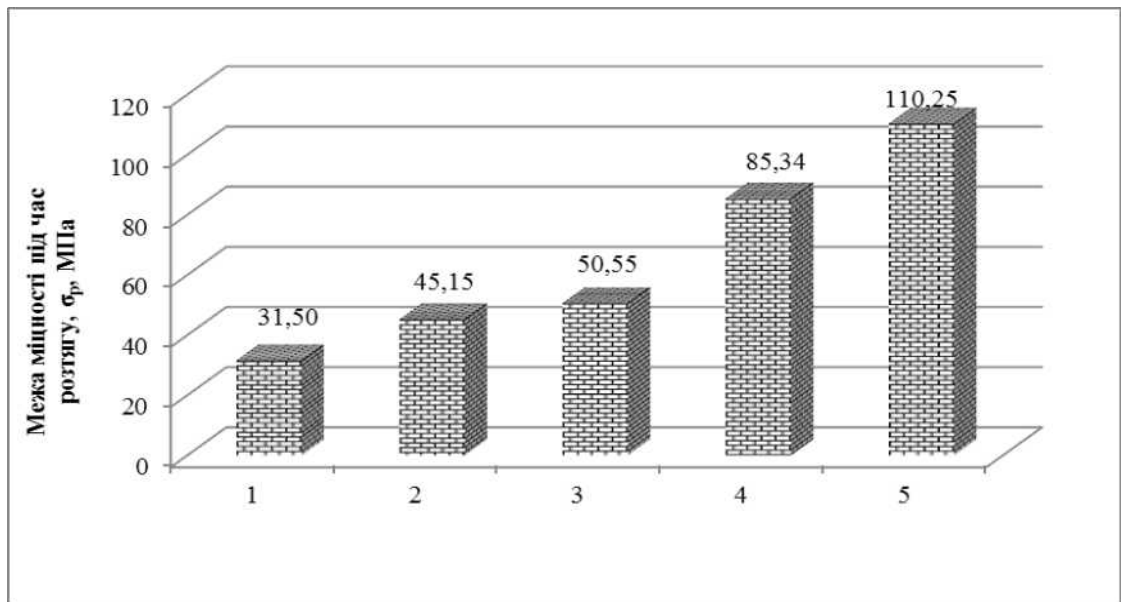


Рисунок 3.6 – Пристрій для досліджень на міцність при розтягу кілець

Результати досліджень показали, що композиційний полімерний матеріал графелон-ПМ має на 29 відсотків більшу межу міцності на розтяг ніж матеріал графелон-20 і у 3,5 рази більшу межу міцності на розтяг ніж каучук СКН-30 (рисунок 3.7).

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62



1 – Каучук СКН-30; 2 – Графелон-ДМ; 3 – Графелон –ДПТ; 4 –  
Графелон-20; 5 – Графелон-ПМ

Рисунок 3.7 – Гістограма межі міцності під час розтягу композиційних матеріалів

Таким чином, зазначений полімерний композиційний матеріал графелон-ПМ переважає інші досліджені полімерні композиційні матеріали щодо міцності на розтяг та зносостійкості в умовах обмеженого мащення.

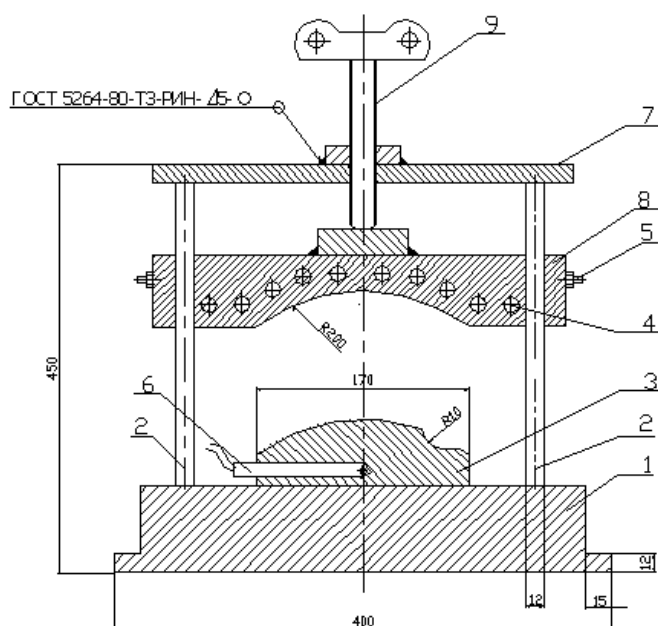
### 3.4 Конструювання технологічного обладнання для наклеювання пластинки із графелону-ПМ на натяжний пристрій

Для склеювання виготовленої з композиційного матеріалу графелону-ПМ пластинки з металевою основою використовували пристрій для наклеювання пластинки із графелону-ПМ (рисунок 3.8).

Застосовували клей Мекладин, виготовлений з суміші рідкого металу, такого як, ртуті або галію, яких температура плавлення 30 °С, та порошка тугоплавкого металу, до прикладу – міді. Дифузія цих металів в клей спричиняє утворення твердих розчинів та інтерметалевих сполук, які характеризуються високими температурами плавлення. Дані клеї тверднуть при кімнатній

температурі. У цьому клею можливе використання евтектичних сумішей галію з іншими металами, що мають температуру плавлення нижчу ніж у галію.

### Пристрій для наклейки пластинки з графелону



1 – нижня нерухома плита; 2 – направляючі; 3 – місце для кріплення заспокоювача ланцюга; 4 – клєми для під’єднання нагрівального елемєнту; 5, 6 – термопарі; 7 – верхня нерухома плита; 8 – верхня рухома плита; 9 – зтяжний гвинт

Рисунок 3.8– Пристрій для наклеювання пластинки із графелону-ПМ

Збільшення температури сприяє прискорєнню дифузії між металами і клеєм. Це в свою чергу сприяє кращому зчєпленню клею з металом і покращує якість та міцність з’єднання. Вища температура дозволяє молекулам пересуватися швидше і проникати в поверхневий шар матеріалів, що сприяє формуванню більш міцних зв’язків між ними. При зниженні температури нижче температури плавлення рідкої складової клейової суміші, пастовидний клей затвердіває. Це означає, що процес склеювання стає неможливим при низьких температурах. Однак, при нагріванні до температури плавлення рідкої

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

складової клей знову стає пастоподібним, що дозволяє знову виконати процес склеювання деталей.

При контактуванні твердого металу з рідким можливе руйнування твердої підложки. Для захисту поверхні твердих металів від крихкості використовують різні методи, такі як мікролегування твердого металу, легування рідкого металу та поліпшення якості металевої поверхні шляхом її шліфування. Створення таких клейових композицій є досить складною задачею, що потребує врахування комплексу факторів, що виявляють як позитивний, так і негативний вплив на експлуатаційні характеристики з'єднань.

Металічні або неметалеві матеріали, завдяки великій змочуваності галію, легко склеюються з полімерною пластинкою, що має металеву підкладку. Навіть у випадках, коли металеві поверхні мають погану здатність до змочування, значна кількість клеїв для металів мають властивість збільшувати свій об'єм при схоплюванні. Це сприяє ефективному склеюванню деталей. При склеюванні деталей їхні поверхні повинні охоплювати одна одну. За цієї умови, клей, що знаходиться в контакті цих тіл, буде ущільнюватись та зміцнюватись. При відсутності контакту з цими матеріалами, клей перетворюється на порошок. Підготовка поверхонь для склеювання металевими клеями аналогічна підготовці поверхні для склеювання звичайним клеєм. Поверхні перед склеюванням необхідно обезжирити спиртом або сумішшю спирту з петролейним ефіром (у відношенні 1:1). Поверхні деталей сушать в електричній печі за температури 40 °С. Після висушування поверхні змочують рідким галієм, що наноситься спеціальним вольфрамовим стрижнем.

Вольфрам є досить твердим металом, він досить добре змочується галієм, тому загострене вістря цього стержня легко руйнує окисну плівку на поверхні металу. Для видалення оксидної плівки необхідно використовувати хімічний метод, в якому обов'язково присутній рідкий галій. Наносити клей слід фторопластовою лопаткою. Деталь попередньо підігрівають до температури 35–37 °С. Полімерну пластинку теж нагрівають до тієї самої

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

температури, що і металева підложка. Далі притирають їх одна до одної, щоб клей повністю заповнив простір між деталями. Наступний етап: пластинку з металевою підложкою затискають у спеціальному пристрої (рисунок 3.8) та витримують при температурі 18-20 градусів на протязі доби. З ціллю пришвидшення процесу склеювання необхідно підвищити температуру до 120–140 °С. В цьому випадку склеювання можна завершити через 6–8 годин. Під час завершального етапу з'єднання відбувається охолодження до кімнатної температури.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

1. Проаналізовані причини виходу з ладу ланцюгового приводу газорозподільного механізму. Встановлено, що у даному вузлі тертя найчастіше трапляються такі відмови:

- розрив ланцюга приводу газорозподільного механізму через надмірно великі навантаження;
- обрив заспокоювача та натяжного пристрою в результаті ослаблення ланцюга та надмірного його биття по них;
- велике зношування зірочок, приводу газорозподільного механізму, ланцюга, заспокоювача, та натяжного пристрою.

2. Освоєна технологія технічного обслуговування газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.

3. Розроблена технологія процесу виготовлення натяжного пристрою ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.

4. Досліджено зносостійкість та міцність на розтяг розроблених матеріалів. Встановлено, що матеріал графелон-ПМ за зносостійкістю за умов обмеженого мащення переважає графелон-20 в 3,3 рази та має на 29 % більшу межу міцності на розтяг.

5. Сконструйовано пристрій для наклеювання пластинки із графелону-ПМ на металеву поверхню натяжника.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

## Список літератури

1. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості і розробка технології виготовлення заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 2. – С. 39–45
2. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості натяжного башмака газорозподільного механізму автомобіля ВАЗ – 21011 / В. П. Свідерський, Л. П. Мельничук, В. С. Нараєвський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 5. – С. 51–55.
3. Раєвський М. А. Посібник з експлуатації автомобіля «Жигулі» / М. А. Раєвський, А. В. Райченко. – Київ: «Техніка». – 1985. – 135 с.
4. Диха О. В. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибосистем : монографія / О. В. Диха, В. П. Свідерський, О. С. Дробот, Н. С. Машовець. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.
5. Кузьменко А. Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність. навч. посіб./ А. Г. Кузьменко . – Хмельницький, ХНУ. – 2002. – 151 с.
6. Антифрикционные термостойкие полимеры / Г. А. Сиренко, В. П. Свидерский, В. Д. Герасимов, В. З. Никонов. – Київ : Техніка, 1978. – 246 с.
7. Сиренко Г. А. Антифрикционные карбопластики / Г. А. Сиренко. – Киев : Техника, 1985. – 195 с.
8. Буря А. И. Структура и механические свойства углепластиков на основе фенилона С-2, армированных металлосодержащими углеродными волокнами / А. И. Буря, А. М. Сафонова, Л. А. Губачева // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №9 (198), Ч.1. – С. 1–6.
9. Гетьманчук Ю.П. Хімія та технологія полімерів / Ю.П. Гетьманчук, М.М. Братичак. – Львів: Бескид Біт. –2006. – 496 с.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

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

11. Thermochemical study on the properties of polyimide BPADA-m-PDA / Yong-Ji Song, Shuang-He Meng, Fu-Dong Wang, Cai-Xia Sun, Zhi-Cheng Tan // Thermochim. acta. – 2002. – Т.389. – №1 – 2. – С. 19–24.

12. Сіренко Г.О. Антифрикційні властивості термостійких полімерів та їх сумішей в умовах над граничних та граничних навантажень під час тертя з обмеженим мащенням / Г.О. Сіренко, Л.В. Базюк, О.В. Кузишин, В.П. Свідерський // Фізика і хімія твердого тіла. – 2010. – Т.11, №1. – С. 224–239.

13. Будник А.Ф. Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: Навчальний посібник / А.Ф. Будник, В.Б. Юскаєв, О.А. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 222 с.

14. Курта С.А. Хімія і технологія ВМС, навчальний посібник, рекомендовано МОН України / Курта С.А., Курганський В.С. – Івано-Франківськ: Видав. «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 291 с.

15. Від традиційних до нових матеріалів. Новітні матеріали і речовини ХХІ століття : навч. посіб. Ч. 5 / О.Т. Богорош, С.О. Воронов, В.М. Крамар, О.Г. Шайко-Шайковський. – Чернівці : ЧНУ, 2018. – 216 с.

16. Буря О.І. Полімерні композити: одержання, властивості, застосування / О.І. Буря. — Дніпропетровськ : Федорченко А. А., 2010. — 383 с.

17. Джурка Г.Ф. Полімерні композиційні матеріали / Г.Ф. Джурка. – Полтава, Полтавський державний педагогічний Університет імені В.Г. Короленка, 2008. – 58 с.

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					ДРМТВАТАМ 23.19125.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70