

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу відновлення посадочного  
місця під підшипник генераторів з дослідженням властивостей відновленого  
покриття

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-62  
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Чавурський В.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис) Слободян Л.М.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
(підпис) Левкович М.Г.  
(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) Цьонь О.П.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Чавурському Віталію Івановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу відновлення посадочного місця під підшипник генераторів з дослідженням властивостей відновленого покриття

Керівник роботи Слободян Любомир Михайлович., к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2023 року № 4/7-1072

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика посадочних місць під підшипник генераторів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Види наплавлення – 1А1. Пристосування для розбирання валів – 1А1.

Мийна установка – 1А1. Установка високошвидкісної наплавки – 1А1.

Приспосіблення контрольне – 1А1. Вивчення взаємодії поверхонь полімерних матеріалів під час створення захисних шарів – 1А1.

Умови створення покриттів впливають на їхню здатність поглинати вологу та масло, а також на їхню щільність – 1А1.

Параметри експерименту та висновки з дослідження – 1А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 20.11.2023р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	25.11.2023	
2	Технологічний розділ	31.11.2023	
3	Конструкторський розділ	06.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	08.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	22.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Чавурський В.І.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Слободян Л.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення технологічного процесу відновлення посадочного місця під підшипник генераторів з дослідженням властивостей відновленого покриття».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра к.т.н. Слободян Любомир Михайлович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 67 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 5 сторінок додатків.

Ключові слова: підшипник, генератори, дослідження, властивості, покриття.

## ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>6</b>
<b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Огляд методів ремонту стаціонарних з'єднань підшипників.....	7
1.2 Огляд тривалості служби відновлених полімерами підшипникових вузлів та дослідження стійкості цих матеріалів.....	9
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>16</b>
2.1 Огляд основних етапів ТП.....	16
2.2 Підбір обладнання для технологічного процесу.....	17
2.3 Розроблення технологічного процесу відновлення.....	21
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>27</b>
3.1 Технічне та лабораторне обладнання для посадочних місць під підшипники.....	27
3.2 Підготовка обладнання до експерименту.....	32
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>34</b>
4.1 Вивчення взаємодії поверхонь полімерних матеріалів під час створення захисних шарів.....	34
4.2 Критерії для покриття під час модернізації місць закріплення підшипникових блоків.....	41
4.3 Умови створення покриттів впливають на їхню здатність поглинати вологу та масло, а також на їхню щільність.....	44
4.4 Фактори, що визначають ефективність роботи автомобільних підшипників.....	46
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>53</b>
5.1 Вимоги пожежної безпеки при технічному обслуговуванні.....	53
5.2 Екзогенні геологічні процеси.....	60
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>64</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>65</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Технологічний прогрес стає невід'ємною частиною сучасного промислового світу, проте з постійним розвитком та інноваціями важливо не забувати про оптимізацію та вдосконалення вже існуючих систем та процесів. Однією з ключових деталей у багатьох машинах та пристроях є підшипники, що відіграють важливу роль у функціонуванні генераторів. Посадочне місце підшипник є критичною зоною, яка вимагає постійного моніторингу та, за потреби, відновлення.

Відновлення посадочного місця підшипник генераторів стає однією з головних задач сучасного обладнання, оскільки воно може значно продовжити термін служби генератора та підвищити його продуктивність. При цьому, важливим є не лише сам процес відновлення, а й якість відновленого покриття, яке повинно відповідати певним стандартам та вимогам. Дослідження властивостей такого покриття допоможе не лише гарантувати його довговічність, а й визначити оптимальні методи та матеріали для відновлення.

У цьому дослідженні ми зосередимося на вдосконаленні технологічного процесу відновлення посадочного місця підшипник генераторів, зокрема на вивченні властивостей відновленого покриття та можливостях його оптимізації.

# 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Огляд методів ремонту стаціонарних з'єднань підшипників

У роботі представлено загальний огляд методів монтажу посадкових місць підшипникових агрегатів кочення. Висвітлено ключові переваги та обмеження кожного методу, а також зроблено порівняння різних підходів до монтажу.

Багато методів монтажу посадочних місць підшипникових агрегатів мають спільні обмеження:

необхідність у високотехнологічному обладнанні;

складність процедур;

ризик механічних пошкоджень деталей;

великі витрати часу, енергії та ресурсів, що підвищують вартість процесу.

Час роботи на відновлення варіюється від 10 до 120 годин на кожен метр квадратний, споживана енергія – від 100 до 256 кВт×год на кубічний метр. Для процесу потрібно від 1,5 до 50 кг матеріалу на м<sup>2</sup>. Однак проблема фреттинг-корозії, яка є головною причиною зносу посадкових місць підшипників, залишається невирішеною.

Використання полімерних матеріалів при ремонті посадочних місць підшипникового агрегату допомагає уникнути раніше згаданих проблем.

Ремонт стаціонарних з'єднань підшипникових агрегатів за допомогою полімерних матеріалів може бути здійснений за двома методами:

застосуванням полімерної оболонки на посадочне місце із наступною корекцією до потрібних параметрів;

з'єднанням однієї частини підшипнику з суміжним елементом за допомогою клею.

При ремонті посадкових місць підшипникових агрегатів найпоширенішими стали епоксидні матеріали та компаунди на їхній основі. Ці матеріали створюються на основі епоксидних олігомерів та агентів затвердження. Для досягнення певних характеристик до композиції додаються різні наповнювачі (такі як залізний порошок, алюмінієві частинки тощо) та

модифікатори (зокрема, різні фталати).

Епоксидні матеріали та суміші на їхній основі відзначаються хорошим зчепленням, витривалістю, а також стабільністю до теплових, водних та хімічних факторів. Їх особливість полягає у можливості затверджування при різних температурних режимах.

А.А. Гаджієв пропонує новий підхід до створення покриттів за допомогою дії зовнішніх силових полів. В процесі його методу епоксидну суміш накладають на потребує ремонт ділянки за допомогою шпателя. Після нанесення суміші її дозволяють висохнути на повітрі впродовж години з одночасним впливом силових полів. Наступний етап - калібрування з допомогою оправки на верстаті. Для закінчення процесу затвердіння, покриття піддають тепловій обробці за певним режимом. Щодо композиції, її основа складається з ряду компонентів, зокрема ЕД-16, АСТ-Т, дибутилфталат та інші. Комбінована обробка з використанням ультразвуку та електромагнітних хвиль сприяла підвищенню міцності та деформаційних властивостей покриття.

Методика створення полімерних ремонтних покриттів для підшипникових місць включає деякі обмеження: вимогу до спеціалізованого устаткування, а також довгий час нанесення та затвердження покриття.

Деякі обмеження згаданого методу відновлення можуть бути вирішені за допомогою з'єднання кільця підшипника з основною частиною опори кочення методом склеювання.

Анаеробні герметики є популярним вибором для відновлення стаціонарних з'єднань завдяки своїй відмінній адгезії до металу, водо-, олійностійкості та здатності витримувати різноманітні хімічні речовини при температурах 60-150°C. ФДУП «НДІ полімерів ім. академіка Каргіна» виділяється на вітчизняному ринку як провідний виробник таких герметиків, особливо марок «Анатерм» та «Унігерм». З іноземних брендів «ЛОСТАІТ» та «THREEBOND» є основними гравцями в цій сфері.

При застосуванні методу клеювання зовнішнього кільця до корпусу важливо враховувати співвісність. Для цього використовуються спеціалізовані центрувальні пристрої. Засобами для цієї процедури часто є анаеробні герметики типів АН та УГ.



При відновленні опор кочення підшипникових вузлів використання анаеробних герметиків дозволяє збільшити термін служби в 3,6 рази у порівнянні з новими. Це досягається завдяки оптимізації розподілу навантаження між елементами кочення.

Основні обмеження методу включають в себе вимогу використання особливого обладнання для центрування, необхідність утримувати з'єднання у вертикальній позиції, а також відсутність високої витривалості герметиків до постійних навантажень, що може призвести до появи тріщин.

Використання наночастинок у складі анаеробних герметиків покращує їх характеристики, такі як міцність, довговічність та час затвердіння. Завдяки цьому збільшується термін служби матеріалу на 1,42 рази у порівнянні з традиційними герметиками без наночастинок.

## **1.2 Огляд тривалості служби відновлених полімерами підшипникових вузлів та дослідження стійкості цих матеріалів**

На основі проведеного аналізу, відновлення зношених частин підшипникових вузлів за допомогою ремонтних полімерних матеріалів визнається найефективнішим методом для забезпечення тривалості служби рухомого складу. Даний підхід відсутність прямого контакту між з'єднаними деталями, зменшуючи таким чином динамічні навантаження та виключаючи ризик повороту кільця підшипника зовнішнього.

Відмінності властивостей металів і полімерів визначають специфіку виникнення та розподілу напруг у поєднаннях з полімерними покриттями під час навантаження.

Кількість циклів динамічного навантаження визначає довговічність підшипникових вузлів. Дослідження показали, що при динамічному навантаженні з'єднання без полімерного покриття з зазором 0,02 мм мають найнижчу довговічність (рис. 1.1, крива 1). Натомість, довговічність з'єднань з натягом 0,02 мм в 2 рази вища (рис. 1.1, крива 2). Але підшипники з полімерним захистом від термообробленого герметика 6Ф показали відсутність зношування протягом 270 годин.

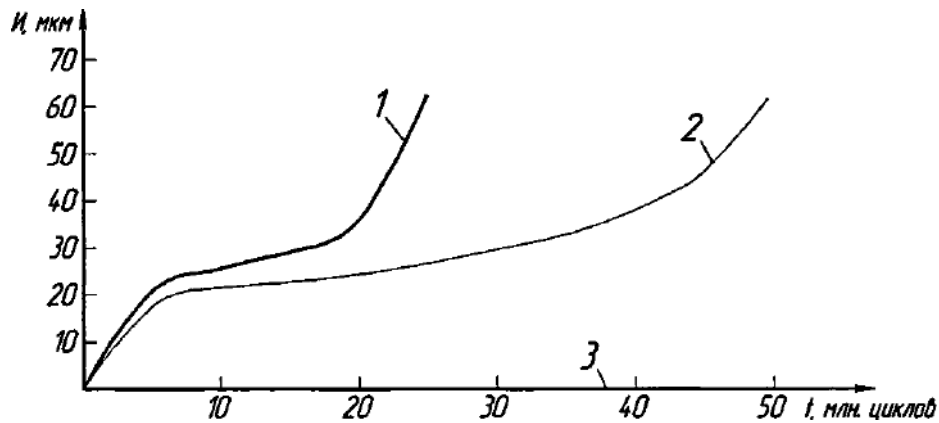


Рис. 1.1. 1.1 Вплив типу з'єднання на зношування посадкових місць при різному напрацюванні: 1 - з'єднання з відстанню 0,02 мм; 2 - з'єднання з стисненням 0,02 мм; 3 - підшипник кочення з покриттям, обробленим герметиком 6Ф.

У вузлах автомобілів під час експлуатації виникають змінювані динамічні навантаження. Цей тип навантаження, який коливається у часі, відомий як циклічний. Існують різні форми циклічних навантажень:

Стабільний цикл (графік 1.2. а) - лише числові коливання напруги, без зміни знаку.

Альтернативний цикл (графік 1.2. б) - напруга коливається як за величиною, так і за знаком.

Пульсаційний цикл (графік 1.2. в) - напруга коливається між нулем та максимумом з однаковим знаком.

Збалансований цикл (графік 1.2. г) - напруга має відмінності обох знаків з однаковою абсолютною величиною.

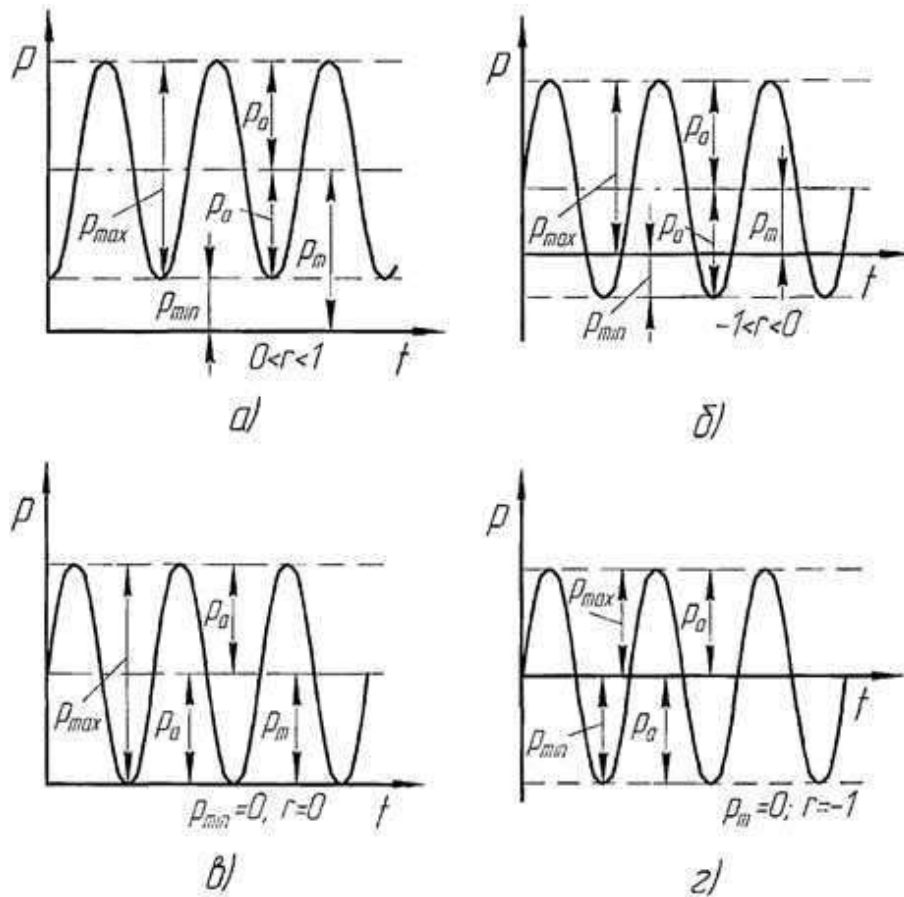


Рис. 1.2. Різні форми циклічних навантажень: а - навантаження зі сталим знаком; б - навантаження із змінним знаком; в - ритмічне навантаження; г - збалансоване навантаження.

Внаслідок постійних навантажень у підшипникових вузлах, відновлених за допомогою полімерів, формуються різні типи напружень. Продовжена дія цих напружень може спричинити пошкодження у полімерному шарі, викликаючи тріщини та подальше знищення деталі.

Діаграма знищення відновлювальних полімерних складових, які застосовуються для реставрації осідла підшипників, включає в себе три стадії і зображена на графіку 1.3.

На початковому стадії відбувається активування напруг, що викликає утворення невеликих розривів на молекулярному рівні, сприяючи формуванню мікроускладнень. Під час другої стадії, під впливом постійних навантажень, в матеріалі формуються мікровідсутності, які викликають його розширення та прискорене розповсюдження початкових мікротріщин.

На завершальній стадії, як вказано в, мікровада набуває значущих розмірів, швидко розповсюджуючись по усьому об'єму деталі, що призводить до її злому.

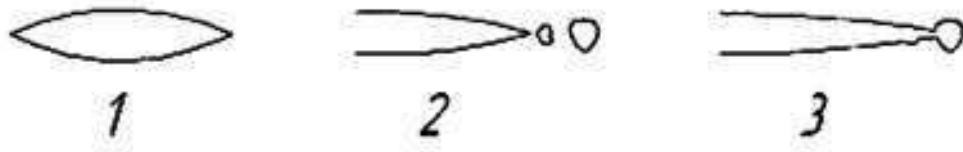


Рис. 1.3. Схема прогресування пошкоджень в полімері під впливом повторних навантажень.

Для аналізу стійкості полімеру під час повторних навантажень можна використати математичну формулу.

$$N = K(\sigma - \sigma_v) - m, \quad (1.1)$$

З формули (1.1) можна отримати стандартний графік (рис. 1.4).

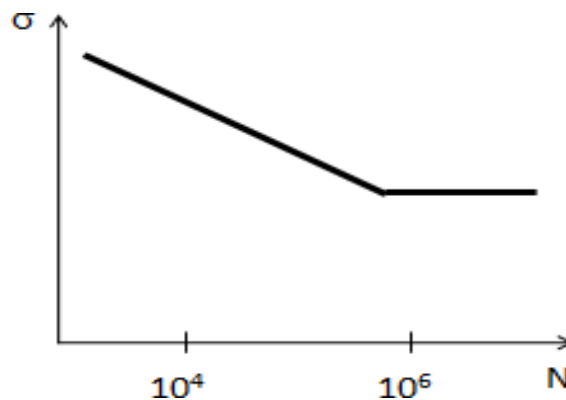


Рис. 1.4. Стандартний взаємозв'язок між рівнем напруги та логарифмічною величиною числа циклів  $N$  до ламання ПКМ.

Стійкість відновлювальних полімерних композитних матеріалів зумовлена рядом факторів, таких як: температурні умови, товщина адгезивного з'єднання, магнітуда деформації під час циклічної напруги, амплітуда напружень під час періодичного впливу, середнє значення напруги та деформації, а також частота навантажувальних циклів.

З поступовим зниженням характеристик полімерних матеріалів через утворення внутрішніх напруг та подальшого формування мікротріщин, деталь слабшає. Стійкість матеріалу до руйнування визначається його особливостями, умовами навантаження та піковими напруженнями.

Додавання наповнювачів, зокрема наночастинок, до вмісту ПКМ покращує їх характеристики, такі як міцність та довговічність. Тести показали, що підшипникові вузли, відновлені за допомогою таких композиційних матеріалів, служать довше, ніж ті, що зроблені з чистих полімерів.

Обмеження, пов'язані з епоксидними та іншими композиційними

склеювачами, заважають їхньому масовому використанню для ремонту посадкових зон у корпусних частинах.

Термопластичні полімери та їх композиції виявляються найкращим рішенням для реставрації посадкових зон підшипників у транспортних засобах. В залежності від вибору компонентів можна створити покриття із специфічними характеристиками. Технологія нанесення таких покриттів може бути легко автоматизована, що забезпечує ефективне використання ресурсів та мінімізацію відходів. Отримані таким способом покриття володіють хорошими якісними показниками, дозволяючи створювати товсті шари, які легко обробляються.

Серед усіх методів застосування термопластичних полімерів та їх композицій, метод нанесення полімерних покриттів із порошкових композицій вважається найбільш оптимальним. Цей метод відзначається своєю універсальністю, зручністю використання та можливістю отримання тонких покриттів.

Метод отримання покриттів з порошків базується на тому, що частинки полімеру розподіляються на деталі, а потім під впливом температури перетворюються в єдине цілісне покриття.

Один із найбільш вдалих методів нанесення порошків на відновлювані поверхні є електростатичний. Цей метод базується на можливості полімерних порошків отримувати електричний заряд в електростатичному полі, після чого вони переносяться на об'єкт нанесення. Процес легко автоматизувати, відрізняється високою швидкістю і гарантує однорідність покриття. Комбінування електростатичного та вібровихревого методів дозволяє отримувати покриття зі збільшеною товщиною.

Існуючі композиції для камерного електростатичного методу не відповідають сучасним стандартам ремонтного виробництва для відновлення посадкових зон підшипників. Також поточне обладнання не забезпечує однорідність покриття всередині отворів.

Дослідження різних методів нанесення покриттів вказало на камерний електростатичний метод як найбільш підходящий для відновлення опорних зон підшипників кочення. Однак з огляду на практичний досвід та особливості цих

деталей, існує потреба у вдосконаленні цього методу та використуваного обладнання.

Важливим фактором покращення якості відновлених деталей є вибір правильного складу полімерної композиції для покриттів. Однак згідно з аналізом літературних джерел, існуючі порошкоподібні композиції для електростатичного напилення не відповідають всім вимогам до характеристик покриттів.

Для деталей, які працюють під умовами коливань та в агресивних умовах, варто використовувати покриття на основі поліаміду.

Поліамід 12 у вигляді порошку вважається обіцяючим завдяки його високим фізико-механічним, технічним та експлуатаційним характеристикам.

Покриття на основі П-12 відзначаються доброю зносостійкістю, можливістю використання в різних температурних умовах та високою здатністю амортизувати удари. Проте, є певні недоліки: при нагріванні частинки поліаміду втрачають своє електричне зарядження, що ускладнює процеси нанесення за допомогою електростатики. Також покриття схильні до внутрішнього напруження та можуть погано з'єднуватися з основою.

Такі характеристики ускладнюють застосування цих покриттів для реставрації посадкових зон підшипникових вузлів.

На сучасному етапі виробництва промисловість пропонує широкий асортимент епоксидних порошкових полімерів, які в основному призначені для формування декоративних та протекторних покриттів. Ці матеріали, порівнюючи з поліамідними порошками, більш ефективно акумулюють електричний заряд. Вироби, зроблені на їх базі, відзначаються хорошою пристосованістю до поверхні та високою жорсткістю [58]. Однак їх безпосереднє використання у ремонті посадкових областей підшипникових вузлів обмежене через їхню схильність до ламкості та невелику стійкість до механічного зносу.

Використання епоксидних олігомерів у складі поліамідних покриттів може змінити їх характеристики. Таке поєднання може не тільки покращити електроосадку часток матеріалу та зміцнити адгезію, але й забезпечити покриття додатковою ударною міцністю і гнучкістю, завдяки особливостям

поліаміду. Щоб забезпечити більшу жорсткість, стійкість до зносу та розмірну стабільність покриттів, можна додати скляне борошно до композиції. Таким чином, комбінована композиція на основі поліаміду П-12, епоксидного олігомеру та скляного борошна може слугувати оптимальним варіантом для ремонту посадкових областей підшипникових вузлів, забезпечуючи відповідні механічні властивості.

Використання композиційних полімерних матеріалів для ремонту підшипникових вузлів може забезпечити більш тривалий термін служби автотранспортних засобів і зекономити кошти на їх обслуговуванні. Тому важливо розробити наукові підходи до покращення якості цих матеріалів, зокрема через додавання різноманітних наповнювачів. Таке інноваційне рішення може оптимізувати властивості полімерних композицій і забезпечити їх більшу ефективність.

Довговічність підшипникових вузлів автотранспорту тісно пов'язана з якістю посадок кілець у деталях корпусу. В процесі експлуатації авто може відбутися розширення зазорів між частинами підшипникового вузла, що веде до зменшення терміну служби автомобіля. Однією з головних причин цього явища є пошкодження місць кріплення підшипників через корозійні процеси та механічні дії.

Використання полімерних покриттів з порошкових композицій може бути інноваційним рішенням для ремонту опор кочення в автотехніці. Однак поточні матеріали ще не можуть гарантувати довготривалу роботу покриттів в екстремальних умовах на зношених частинах підшипникових вузлів.

Поточні методи нанесення порошкових покриттів не завжди забезпечують відмінну якість, особливо щодо адгезійних характеристик, які є ключовими для тривалості служби відремонтованих компонентів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Огляд основних етапів ТП

Для збереження первісних характеристик деталей і забезпечення високої продуктивності при обмежених витратах, потрібно ретельно планувати технологічний процес. Ключ до успіху — правильний вибір послідовності дій, методів роботи, обладнання та інструментів.

На основі ряду досліджень було обрано оптимальний метод і параметри для нанесення порошкових покриттів при відновленні місць для підшипників на корпусних деталях. Важливо враховувати особливості виробництва при відновленні окремих деталей. Наприклад, під час тестів було виявлено, що покриття не розподіляється рівномірно на поверхні підшипникових місць.

Щоб забезпечити рівномірність покриття, слід вдосконалити форму та розміри насадки дозатора. Ця насадка служить для регулювання потоку порошку та відокремлення частинок перед нанесенням на поверхню.

Перед тим, як інтегрувати нову технологію в виробничий процес, необхідно визначити, на які деталі її можна застосувати із заданою композицією, а також провести аналіз вартості та ефективності цієї технології.

У процесі створення методу відновлення акцентували увагу на таких аспектах:

Створення високоефективних засобів для нанесення покриття і його наступної обробки.

Визначення процедури відновлення місць під підшипники на кришках генераторів авто.

Інтеграція нової методики у виробництво з аналізом її вартості та ефективності.

В ході дослідження було виділено три стадії. Початкова стадія була спрямована на створення інструментів і техніки для аплікації та наступної обробки покриття.

Було аналізовано особливості конструкції та оцінено вигоду та ефективність використання нового обладнання та інструментів. Основна увага



була приділена якості покриттів, отриманих з допомогою цього технічного комплексу.

Проводили нанесення покриття на зразки із сталі (див. рисунок 2.1) із круглим отвором діаметром 42 мм та глибиною 65 мм. Деталі обробляли на токарному верстаті, забезпечуючи точність їх виробництва. Контролювали якість в декількох місцях, використовуючи спеціалізоване обладнання для аналізу зношуваності.

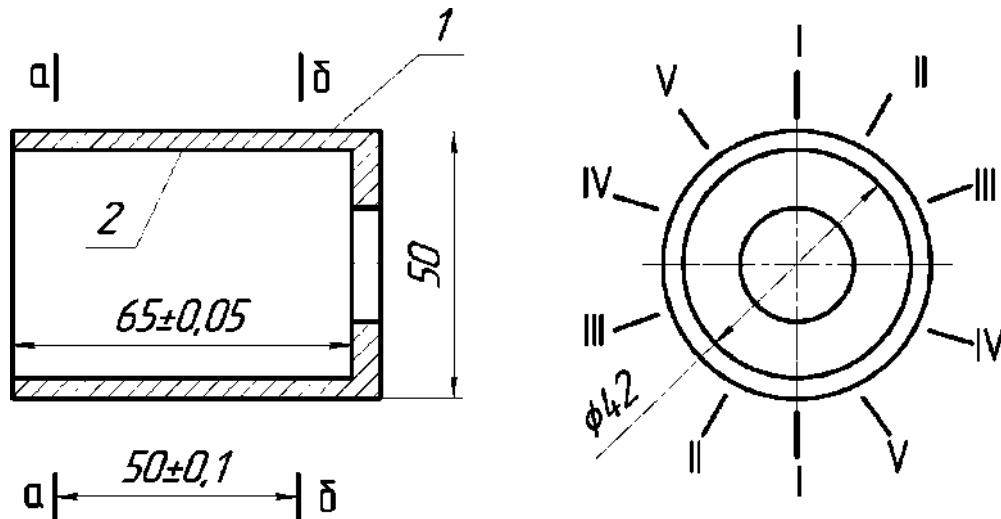


Рис. 2.1. Деталь та методику визначення відхилень

Зразки встановлювали, орієнтуючись по зовнішній поверхні, використовуючи індикаторний нутромір для визначення максимальних та мінімальних відхилень від стандартного розміру отвору. Наступно аналізували якість покриття. Для визначення товщини покриття порівнювали діаметр отвору до та після його обробки.

Під час другої стадії були розроблені кроки технічного процесу та додані рекомендації з оптимізації методів нанесення та створення покриття.

На третій стадії було зосереджено увагу на тестуванні відновлених деталей, створенні рекомендацій для впровадження нової технології в виробничий процес та аналізі ефективності виконаних дій.

## 2.2 Підбір обладнання для технологічного процесу

Пристрій для створення покриттів (див. рис. 2.2) об'єднує в собі резонансну камеру та блок живлення. Резонансна камера представляє закриту

ємність, зроблену з діелектричного матеріалу (наприклад, кераміки) і включає аерозольний відсік 1 та розпилювальний відсік 3. Вони відокремлені мікроскопічною мембраною 2, під якою розміщена провідна плівка 4, що з'єднана з блоком живлення 12. Продукт наносять через адаптер 6 і закріплюють за допомогою фіксатора 9, що містить ультразвуковий модуль із провідником 11.

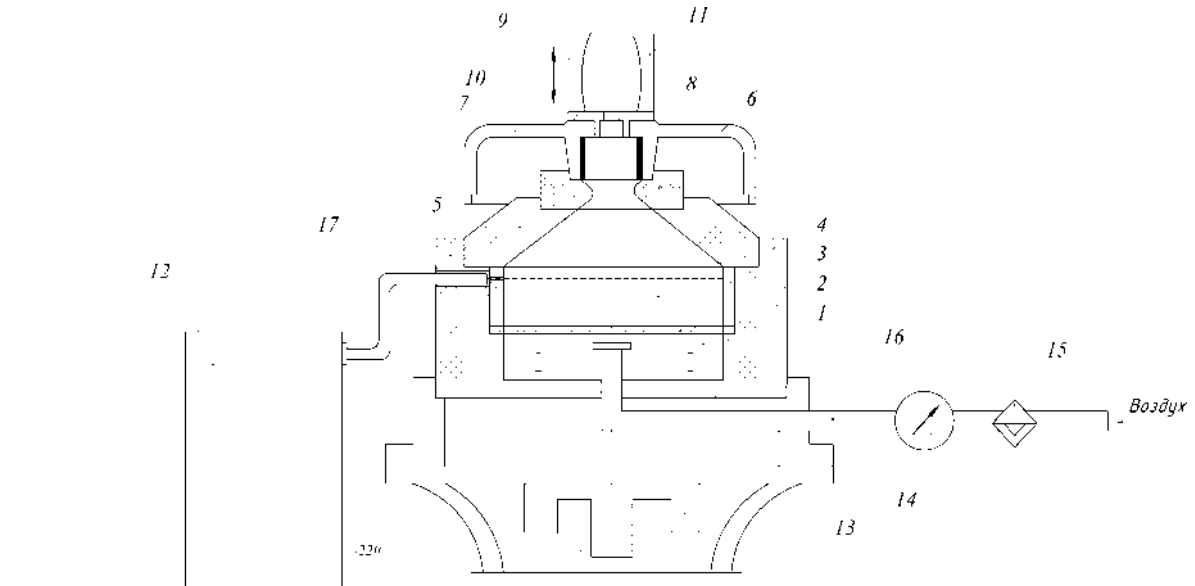


Рис. 2.2. Схема пристрою для нанесення полімерних матеріалів включає: 1 – камеру для повітря; 2 – діафрагму з порами; 3 – простір для розсіювання порошку; 4 – електричну сітку; 5 - кришку; 6 – з'єднувальний елемент; 7 - об'єкт обробки; 8 – шар покриття; 9 – фіксатор; 10 - обмежувач; 11 – провідник хвиль; 12 – блок живлення високої напруги; 13 – пристрій вібрації; 14 – прилад для вимірювання тиску; 15 - фільтр для відділення вологи; 16 – трубопровід для повітря; 17 – головний корпус.

Під дією вібрацій, створених електромагнітним пристроєм 13, та аеродинамічного ефекту з повітряного каналу 16, полімерний порошок переходить у стан, схожий на рідкий. Для контролю тиску повітря використовують манометр 14, а відділення вологи здійснюється завдяки пристрою 1.

Під час обробки порошку, на електродну сітку подається велика напруга (30-60 кВ). Частинки полімеру з певним електричним зарядом накладаються на деталь з протилежним зарядом. Полімерний порошок взаємодіє лише з

потрібною оброблюваною поверхнею. Витік порошку блокується перекриваючим елементом, який включає тканинний фільтр 11 та упор 10.

Дизайн та розміри насадки, якою просіюється полімерний порошок під час його нанесення, мають важливе значення для якості і уніформності покриття, а також для ефективності процесу. При розробці пристрою рекомендується забезпечити отвору насадки форму схожу на гіперболу. Оптимальний діаметр цього отвору має бути від 40% до 60% від  $D_{\text{п}}$ . За таких умов можна отримати найвищу ефективність та забезпечити найкращу якість покриття.

В установці для розтоплення полімеру (див. рис. 2.3) особливість полягає в використанні ультразвуку для покращення формування покриття на деталі. Додатково, для забезпечення оптимального нагріву, пристрій оснащено трьома індукційними печами, які можуть переміщуватися вертикально.

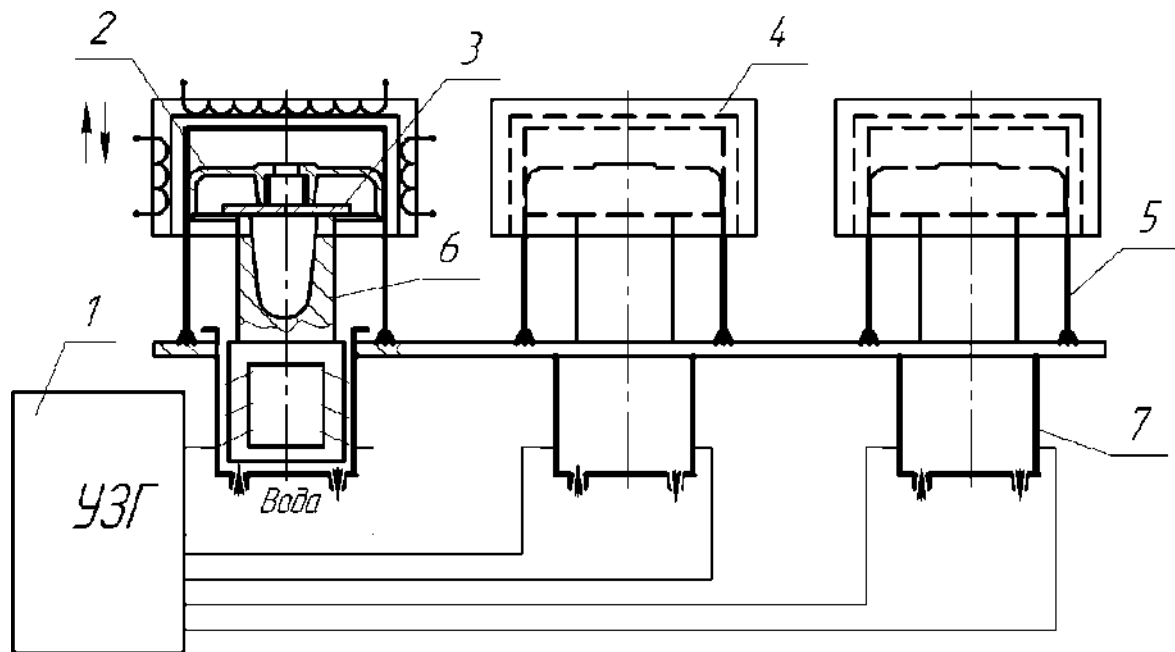


Рис. 2.3. Апарат для розтоплення порошку у ультразвуковому полі складається

з:

1 – засіб для генерації ультразвуку; 2 – об'єкт обробки; 3 – передавач ультразвукових хвиль; 4 – затискач; 5 – рухомі елементи; 6 – основа; 7 – оболонка.

На підставці 6 розташовані хвилеводи 3, які під'єднані до генератора ультразвуку 1. Після того, як на деталь 2 було нанесено порошковий полімер, її розміщують на хвилеводі і фіксують за допомогою затискача 4. Потім пів

переміщують до деталі для розтоплення порошку. Після завершення цього процесу піч піднімають, а деталь направляють на додаткову обробку після її охолодження.

Ультразвукові коливання генеруються за допомогою генераторів моделі УЗГ, які працюють у стабільному режимі. Дизайн хвилеводів залежить від геометрії і характеристик деталей, що реставруються. Ефективна передача ультразвукових вібрацій вимагає надійного контакту між хвилеводом та об'єктом покриття.

Для точної обробки монтажних отворів у деталях, як-от кришка генератора, було створено унікальний інструмент. Цей інструмент гарантує високу точність обробки (6-7 квалітет) та строгую відповідність розміщення монтажного отвору (див. рис. 2.4). Адаптивні насадки 5 роблять пристрій більш універсальним, що дозволяє обробляти різні деталі, такі як місця для установки підшипників у кришках генераторів чи захисних панелях електродвигунів.

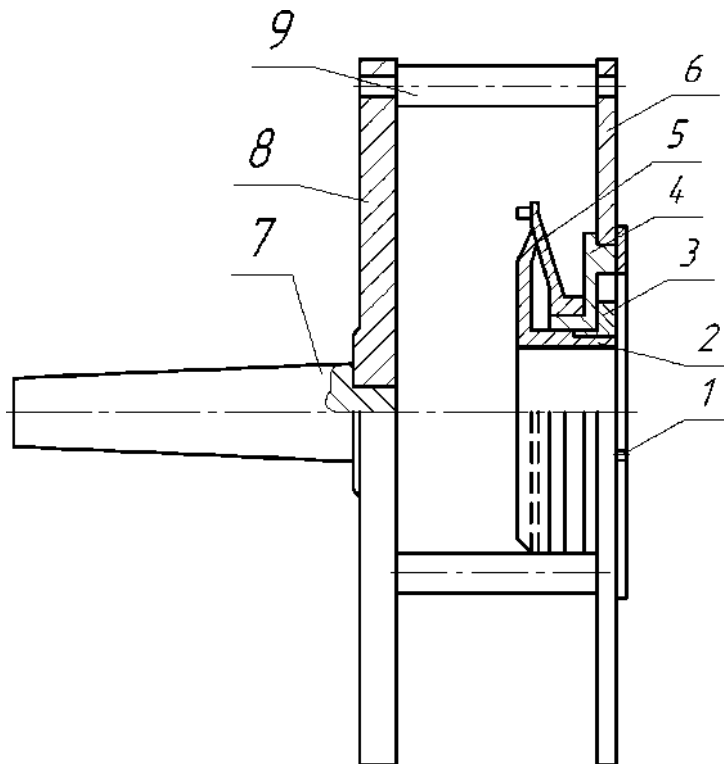


Рис. 2.4. Пристрій для оброблення підшипникових зон у кришках генераторів  
включає:

1 – закріплювальний елемент; 2 – опорний блок; 3 – оброблювальний диск; 4 – адаптер; 5 – регульований елемент тиску; 6, 8 – обрані робочі диски; 7 – регульований елемент; 9 – стабілізатор.

Прилад розроблено у формі патрону з гнучкою оболонкою (див. рис. 2.4) та містить два диски 6 та 8, які сполучені між собою стабілізаторами 9. Один з дисків обладнаний адаптером 7 для встановлення на верстаті. На супутньому диску нерухомо розміщена адаптивна втулка 4 з комплектом розширювальних оболонок 5. Сегменти цих оболонок мають радіальні та торцеві референсні поверхні, які співпрацюють із референсними поверхнями оброблюваної деталі.

Центральна частина адаптивної втулки з'єднана з основою дискового блоку 3, що контактує з набором пластинчастих оболонок. Розширення цих пластинчастих оболонок під час монтажу та кріплення деталі відбувається завдяки гвинтовій системі 1, яка під час обертання активізує дію опори 2. Ця опора надсилає тиск на оболонки 5, розтягуючи їх.

При розслабленні гвинтової системи 1, опорний елемент переміщується проти дії оболонок, що призводить до стиснення мембран та відпускання компонента. Дизайн цього пристрою дозволяє обробляти компоненти з скошеними оброблюваними та референсними поверхнями із точністю вирівнювання до 0,02...0,05 мм у діаметрі та до 0,01...0,05 мм на кожні 100 мм довжини.

### **2.3 Розроблення технологічного процесу відновлення**

У процесі відновлення деталей у ремонтному цеху виконуються наступні кроки: промивання та очищення компонентів, виявлення дефектів, встановлення методів відновлення, підготовка зношених частин, реабілітація ушкоджених зон та оцінка результату. Кожен з цих кроків включає ряд конкретних завдань, які відіграють ключову роль у технічному процесі. Ефективне планування та виконання цих завдань впливає на швидкість, якість та вартість процесу відновлення.

Особливості будови та виробничі характеристики деталей підшипників впливають на вибір та послідовність виконання виробничих дій.

На підставі дослідження сучасних методів та попередніх випробувань була визначена така стратегія відновлення підшипникових опор кришок генератора:

Промивання та чистка деталей.

Визначення дефектів у відповідності до стандартів ремонту.

Термічна обробка для видалення залишків засобів для змащування.

Цей етап важливий через те, що в порах відновлюваної деталі можуть залишитися сліди мастила. При термічній обробці це мастило може розширюватися, викликаючи проблеми з адгезією між покриттям і базовою деталлю.

Альтернативні методи підготовки (як-от очищення, травлення або пасивація) не були так ефективні, особливо при роботі з деталями з алюмінієвих сплавів.

Передусім потрібно механічно обробити пошкоджені ділянки. Цей крок допомагає видалити несправні частини і відновити оригінальний контур поверхні. Важливо слідувати настановам, вказаним у розділі 4: обробка отвору має бути докладною з певною шорсткістю  $Rz = 15...30$  мкм. Цей показник шорсткості можна досягти завдяки добре налаштованому обладнанню.

Створення та моделювання покриття - ключовий крок у виробничому процесі, від результатів якого залежить успішність ремонту.

На основі вивчення результатів з попередніх розділів було вибрано метод нанесення покриттів з порошкових композицій в комбінованому електростатичному та ультразвуковому полі. Для створення покриттів була використана порошкова композиція такого складу:

П-ЕП-219 епоксидний олігомер - 32 .. 40%; б) скляний порошок - 9,8...11,6%; поліамідний порошок 12 - решта. Розмір частинок складає 80–200 мкм.

Дослідницькі результати з розділів 3 та 4 дали підставу для розробки методичних вказівок щодо встановлення технологічних параметрів нанесення та створення покриттів і налаштувань УЗП. Ці параметри були перевірені в виробничому середовищі та адаптовані відповідно до конкретних особливостей технологічного процесу. Важливо підкреслити, що ці параметри служать як базовий орієнтир і можуть вимагати корекції в залежності від конкретної

ситуації. Причина цього полягає в тому, що процес формування плівки під впливом ряду факторів, які важко прогнозувати як у теоретичному плані, так і на практиці. Серед цих факторів - розміри та форма деталей, товщина плівки, теплові властивості деталі, тип опалення, співвідношення маси деталі до оброблюваної поверхні, характеристики порошку, його вологість і електричний заряд, кількість нанесених шарів тощо. Конкретні технологічні параметри для створення покриттів з полімерних матеріалів та налаштувань УЗК ви можете знайти в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Методи нанесення та створення покриттів із порошкової композиції в комбінованому електростатичному та ультразвуковому режимах.

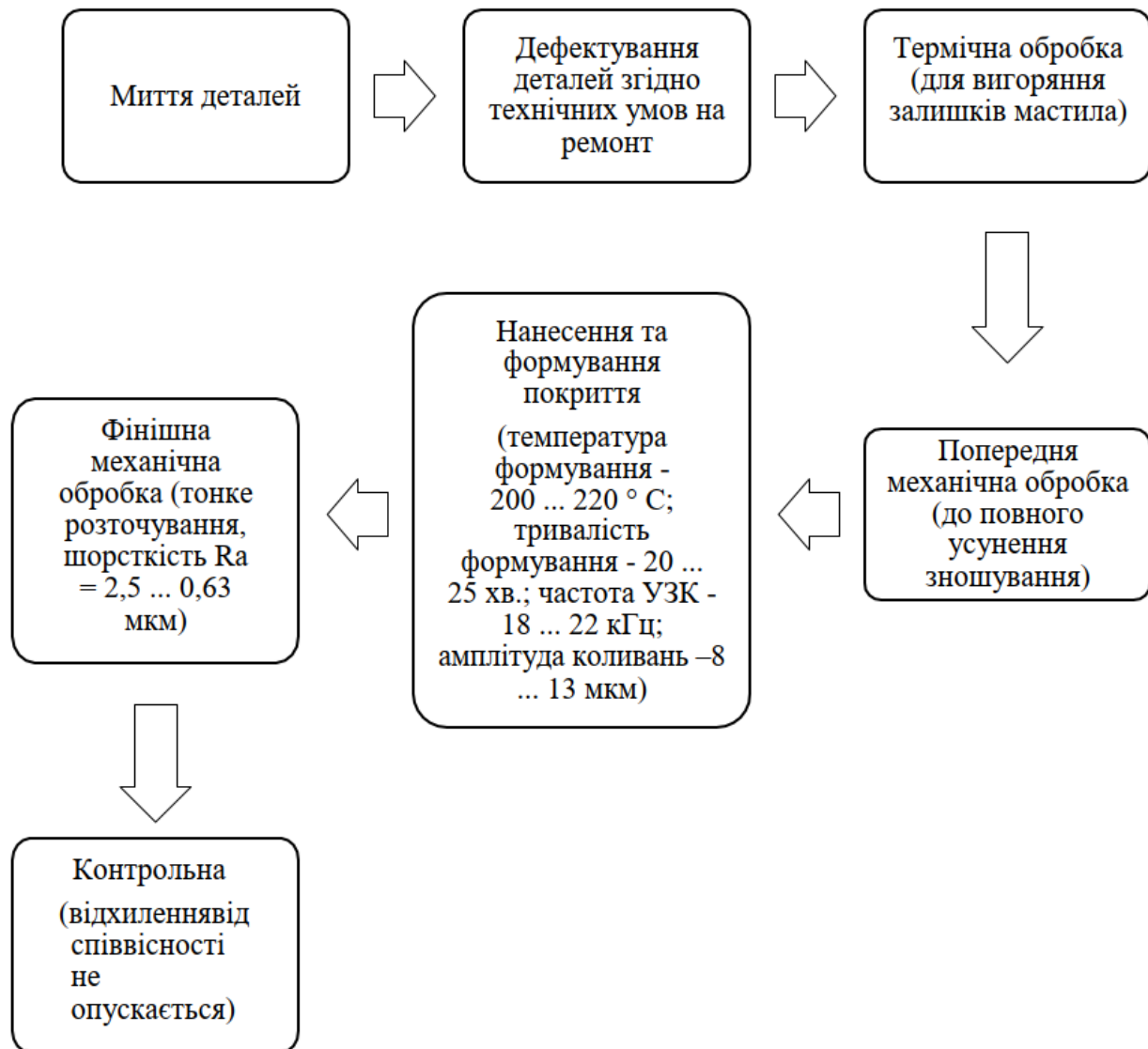
№ п/п	Назва параметра	Одиниці виміру	Результат
1	Напруга на електроді	кВт	40-65
2	Тиск у повітряному просторі	МПа	0,03-0,09
3	Час нанесення покриття	з	15-65
4	Температурний режим нанесення покриття	°С	210-220
5	Час створення покриття	хв	16-26
6	Частота ультразвукового контролю	кГц	18-23
7	Амплітуда ультразвукової хвилі.	мкм	8-14

Завершальна механічна обробка проводиться для надання відновленій поверхні потрібної шорсткості та габаритів, які забезпечують ідеальний контакт між підшипником кочення та елементом корпусу. У якості такої обробки використовується делікатне розточування на умовах різання неметалічних металів, це не впливає на структуру полімеру та якість обробленої поверхні.

Під час обробки місця для підшипникового вузла потрібно застосовувати поле допуску Н8 чи Р8 із шорсткістю  $R_z = 3,0 \dots 0,8$  мкм і  $t_{cp}$  30%.

Діаграма виробничого процесу ілюстрована на малюнку 2.5.

Операційний тест було здійснено на транспортних заводах ПМР. Оцінювали двигуни з ремонтowanими кришками автомобільних генераторів.



## 2.5. Діаграма методу ремонту пошкоджених областей підшипникових агрегатів.

Автомобілі з ремонтowanими генераторами використовували в різноманітних умовах. Час експлуатації вимірювали за даними одометра на початку та завершенні використання транспортного засобу. Також відслідковували періоди простою автомобілів через планове технічне обслуговування або ремонту.

Процедура реконструкції місць для установки підшипників кочення у кришках автомобільних генераторів.

№	Назва операції	Обладнання	Опис дії
1.	Миюча	Ультразвуковий басейн УЗБ-12/200	Очистити елемент у 2-2,5% розчині МС-6 чи МС-8.



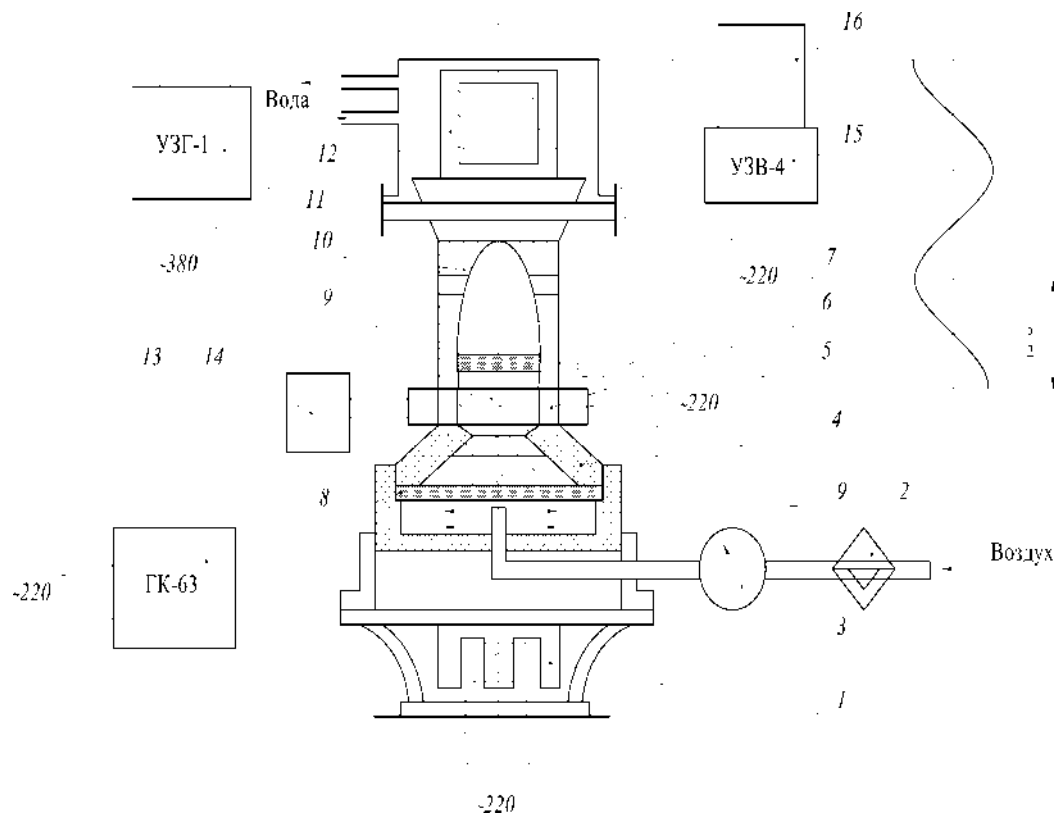
		МП	
2.	Перевірка на дефекти	-	Проводити перевірку на відповідність технічним вимогам до ремонту.
3.	Теплова обробка	Теплова піч	Прогрівати компонент до температурного діапазону 150-200°C і утримувати його на цьому рівні протягом 1,5-2 годин.
4.	Токарні роботи	1К 62, устаткування для механічної обробки.	Формувати отвір для установки таким чином, щоб відновити весь знос, забезпечуючи шорсткість Rz від 15 до 30 мкм.
5.	Аплікація покриття	Нанесення покриттів з порошкових композицій в комбінованому електростатичному і ультразвуковому режимах.	Нанести порошкову композицію на відновлювані посадкові зони після попередньої ультразвукової обробки деталей з параметрами: $\Phi=18-22$ кГц, $A=8\dots 13$ мкм. Напруга на електродній сітці становить 40-60 кВ, тиск у робочій камері – 0,02-0,08 МПа, а час нанесення варіюється від 15 до 60 секунд.
6.	Створення покриття	Апарат для створення покриттів в ультразвуковому режимі.	Створення покриття за допомогою ультразвукової обробки. Частота ультразвукових коливань складає 18-22 кГц, амплітуда - від 8 до 13 мкм. Температура процесу від 200 до 220°C з

			тривалістю 16-25 хвилин.
7.	Токарні роботи (фінішне розточування)	1К 62	Обробити посадкове місце до шорсткості Rz від 0,63 до 2,5 мкм із значенням $t_{ro}$ не менше 25%.
8.	Перевірочна операція	-	Провести комплексний огляд деталі відповідно до технічних вимог ремонту.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Технічне та лабораторне обладнання для посадочних місць під підшипники

Апарат для нанесення та створення облицювань (рис. 3.1) включає бак з активною рідиною 4, блок високої напруги 13, ультразвуковий модуль 11, механізм вібрацій 10 та засоби контролю та регулювання процесу та ультразвукових параметрів.



3.1. Діаграма дослідницького обладнання для створення та опрацювання облицювань:

1 – електронний пульсатор; 2 – система очищення; 3 – датчик тиску; 4 - реактор з активною рідиною; 5 – система обігріву; 6 - об'єкт опрацювання; 7 – захисний шар; 8 – металеве кільце; 9 – вентильна система; 10 - демпфер; 11 – ультразвукова установка; 12 - п'єзоелектричний елемент; 13 – послідовний модулятор; 14 – контролер температури; 15 – детектор вібрацій; 16 – аналізатор сигналу.

Резервуар поділений на три зони: базова - де циркулює повітря, верхня - для зберігання та передачі ультразвукових хвиль, а центральна служить

основною робочою зоною. Резервуар підтримується на динамічному механізмі 1 за допомогою трьох гумових опор.

Базова та центральна зони відокремлені вентиляційною стінкою 9. Понад цією стінкою розташовано обруч із електронної сітки 8, який приєднано до джерела електроенергії. Об'єкти, які підлягають обробці, розміщуються понад основною зоною і фіксуються діелектричним відводом 10.

Виробником ультразвукових вібрацій служить мультимодовий ультразвуковий конвертер УЗК-А, який працює в діапазоні від 15 до 45 кГц.

Вібраційна система пристрою включає дві частини: основну та додаткову. Основні елементи представлені паралельними п'єзоелектричними конвертерами моделі ПKE-20Б-22.

Частини вібраційної системи тісно взаємодіють за звуковими та фізичними характеристиками. Для їх створення застосовані нержавіюча сталь і бронзовий сплав Б-4В.

Частоту резонансу вібраційної системи вимірювали за допомогою цифрового аналізатора частоти АЧ-15, а інтенсивність коливань на кінці хвилеводу визначали за допомогою пристрою для аналізу вібрацій ВА-3.

В якості джерела великої напруги було застосовано модульний генератор МГ-55. Інтенсивність напруги змінювали з допомогою регулятора РН-3 і відстежували за допомогою індикатора напруги на бортовій консолі.

Вимірювання та настройку технологічних процесів та параметрів ультразвукової коливальної системи проводили за допомогою катодно-променевого осцилографа КПО-77, частотоміра лічильного ЛЧ-31, акустичного генератора АГ-24 та регулятора опору.

Основа роботи пристрою базується на комбінації електростатичного методу нанесення в камерному режимі та активного використання ультразвукових коливань для створення покриття.

Полімерна частинка розміром від 80 до 200 мкм, яка була оброблена методом вібраційного псевдозрідження, переміщується на поверхню деталі завдяки дії електростатичного поля. Електричний заряд накопичується на частинках через взаємодію з цим полем.

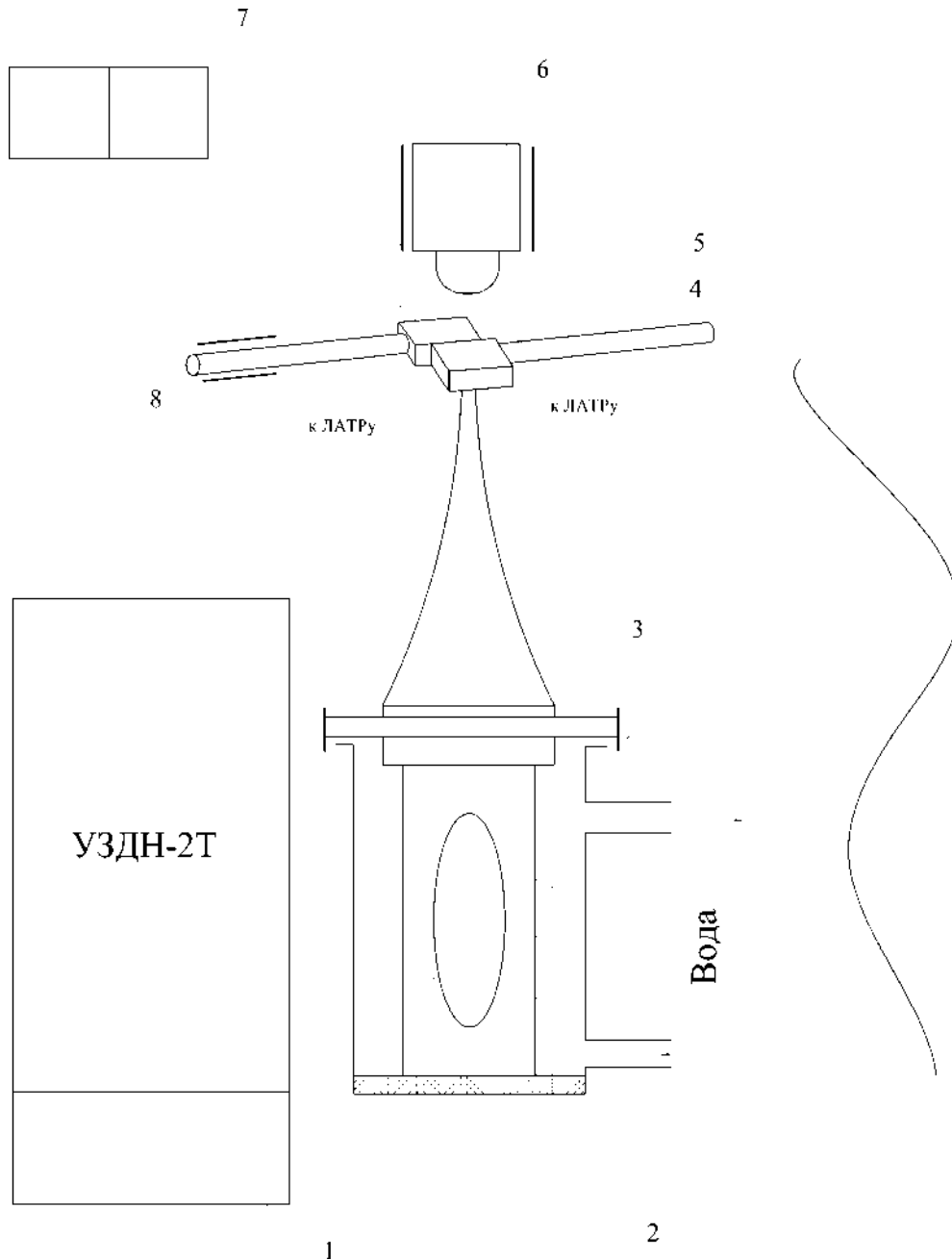


Рис. 3.2 Представляє схему апарату для дослідження процесу розтікання розплавлених полімерів:

1 – ультразвукова установка для диспергування; 2 – пристрій для перетворення на основі магнітострикції; 3 – ділянка для передачі хвиль; 4, 5 – обрані зразки; 6 – електронне збільшувальне пристрій; 7 – пристрої для регулювання температури; 8 – пристрої для нагрівання.

Деталь, покрита полімерним порошком, піддається нагріванню для спайки частинок полімеру в єдину плівку. У процесі нанесення покриття на деталь діють ультразвукові хвилі.

Апарат для аналізу розтікання розплавленого полімеру створений на основі ультразвукового диспергатора. Ця установка дозволяє спостерігати, як

формується краплина полімеру під впливом ультразвуку і без нього. Процес формування краплі можна відстежувати за допомогою модифікованого мікроскопа, який з'єднаний з комп'ютером і має можливість збільшення до  $\times 1000$  разів. Для аналізу використовується програма S-EYE версії 1.6.0.11.

Обидва зразки утримувались у встановленому температурному режимі завдяки двом терморегуляторам. Дослідження зносу місць для підшипників у кришках генераторів виконувалось на специфічному обладнанні (згадано на рисунку 3.3).

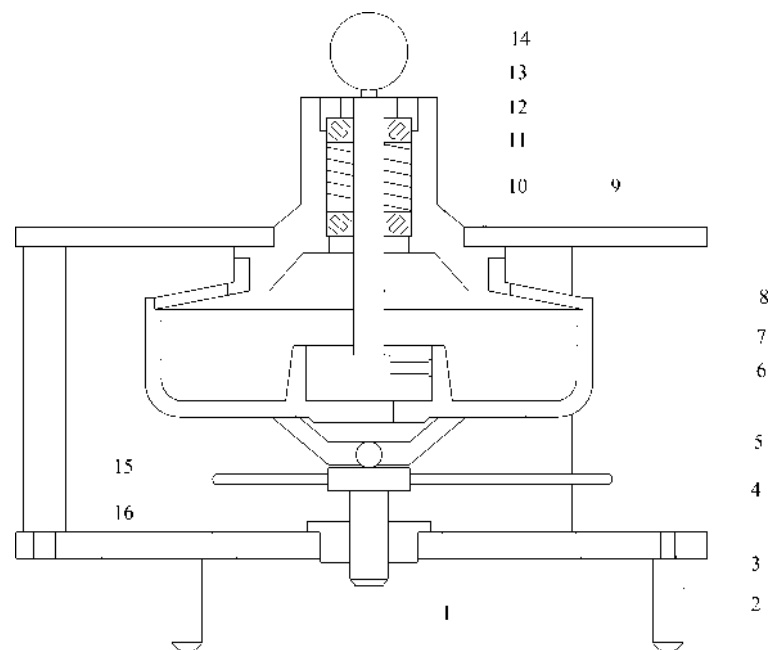


Рис. 2.3. Представляє схему обладнання для аналізу ступеня зносу місць для підшипників у кришках генераторів:

1 – з'єднувальна гайка; 2 – опорні елементи; 3 – нижнє колесо; 4 – рухливий гвинт; 5 – перегородковий елемент; 6 – об'єкт контролю; 7 – регулювальні мембрани; 8 – верхнє колесо; 9 – важіль нутроміра; 10 – оболонка; 11 – еластичний елемент; 12 – роликові конічні підшипники; 13 – диск налаштування; 14 – індикаторний пристрій; 15 – опорна точка; 16 – механізм стиску.

Основна ідея роботи установки полягає у створенні кругової діаграми зносу місць для підшипників відносно вихідної поверхні. Вимірювання відхилень здійснювались за допомогою індикаторного нутроміра згідно стандарту і точністю до 0,002 мм.

Апарат має два диски: нижній (3) та верхній (8), які з'єднані за допомогою трьох опор (5). Індикаторний нутромір (9), який може обертатися, розташований на верхньому диску і опирається на два конічних підшипники. Ці підшипники знаходяться в корпусі (10), на якому також є спеціальна тарілчаста пружина (7). Конструкція забезпечує точне положення референсної поверхні пружини відносно осі обертання вимірювального приладу.

Об'єкт вимірювання (6) розміщується на тарілчастій мембрані за допомогою замкової системи і закріплюється за допомогою механізму стиску через п'яту (15), яка знаходиться на нижньому диску.

Під час експериментів на обладнанні аналізували ступінь зносу місць для підшипників у генераторних кришках. Основний фокус був на кришках, зроблених з алюмінієвих матеріалів та сталі, з типовим діаметром отвору 72 мм. Для аналізу використовували по 100 кришок з кожної серії. Використовували різницю між стандартним діаметром і вимірами приладу для оцінки розподілу. Ступінь зносу розраховували на основі порівняння допустимого розміру отвору і фактичного розміру зношеного отвору. Випробування на прочність проводили на виробках у формі втулок зі сталі та алюмінію. На них було створено п'ять спеціальних отворів, в які вставляли підходящі деталі (детальніше на рис. 3.4).

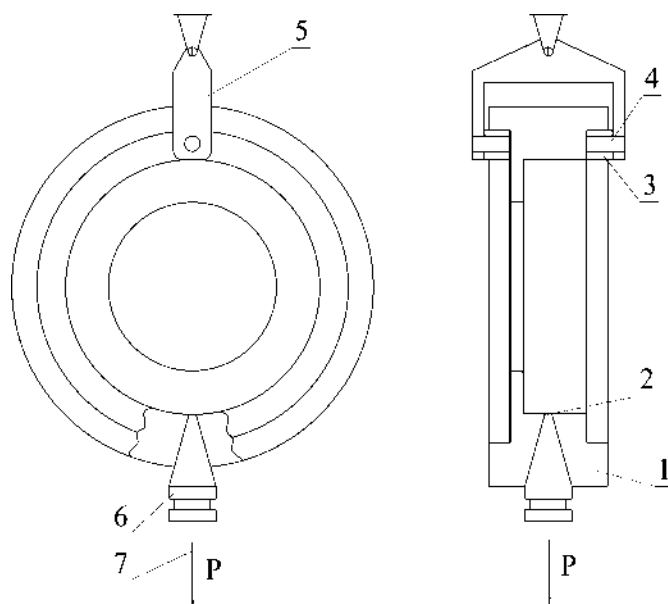


Рисунок 2.4 – Діаграма приладу для виміру адгезійної міцності за допомогою методу штифтів:

1 – об'єкт випробувань; 2 – ПКМ; 3 – валочок; 4 – вісь валочка; 5 – самоцентруючий механізм; 6 – штифт; 7 – сила розривання.

Характеристики текучості композитних полімерних речовин з підшипникової частини були вивчені за допомогою методу динамічного механічного дослідження (ДМА) (див. рис. 3.5).



Рис. 3.5. Зовнішній вигляд пристрою DMA 242 E Artemis.

Стандартний пристрій ДМА (DMA 242 E Artemis) включає в себе зону для вимірювань, модулі нагрівання та охолодження, а також системи керування. Процедура тестувань відповідає вимогам світових нормативів: DIN 53513, DIN 53440, ASTM D 4065, ASTM D 4092.

Під час застосування методики ДМА використовувалися прямокутні площинні зразки, на які накладалась коливальна сила з різною амплітудою та частотою в широкому спектрі значень.

На основі даних, отриманих з пристрою DMA 242 E Artemis, було розраховано параметри пружності, показники в'язкості на початковому та завершальному етапах, тривалість релаксації, фактори старіння, характеристики в'язкої деформації та інше.

### **3.2 Підготовка обладнання до експерименту**

Аналіз та організація експериментів проводилися за допомогою програм STATISTICA версії 10 від StatSoft, Inc. та Microsoft Office Excel 2013.

Використання статистичних методів для організації експериментів допомогло відмовитися від випадкового підходу до проектування досліджень.



Велика частина експериментів базувалася на добре продуманій програмі, яка передбачала об'єктивне вимірювання результатів. Завдяки цьому було можливо зменшити кількість потрібних дослідів, не втрачаючи при цьому якості отриманих даних.

В програмі Microsoft Office Excel 2013 було розроблено плани для усіх однофакторних досліджень. За допомогою цього інструменту проводилася аналітика результатів дослідів, а також підбирались математичні моделі, які найефективніше представляли вивчені процеси.

Аналіз рівнянь регресії проводили на основі порівняння індексу кореляції та його відповідності критерію Стюдента. Якщо індекс кореляції перевищував встановлене стандартне значення, то залежність вважалася достовірною. У протилежному випадку вважалось, що теоретична модель не відображає дійсних результатів експерименту з достатньою точністю.

Для організації та обробки багатфакторних досліджень використовували програмне забезпечення STATISTICA версії 10. Для визначення відповідності обраної моделі дійсності вживали процедуру з рівнем надійності  $\alpha=0,05$ , включаючи розрахунок таких параметрів як сума квадратів, пов'язана з відхиленням моделі, та критичне значення Фішера.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Вивчення взаємодії поверхонь полімерних матеріалів під час створення захисних шарів

Процес створення полімерного відновлювального шару може бути розділений на три етапи. На початковому етапі молекули розтопленого полімеру наближаються до базової поверхні, одночасно організовуючись як всередині шару, так і на границі контакту матеріалів.

Під час другого етапу відбувається пряма взаємодія між затвердіваючим полімером та основою. Сила цієї взаємодії залежить від відстані між сполучними матеріалами. У практичних умовах цей показник може змінюватися через ряд факторів, таких як забруднення на поверхні, газові бульбашки у мікропорах, а також присутність повітряного шару на границі контакту матеріалів.

На заключному етапі процесу має місце хімічна взаємодія між полімером і основою, а також формується текстура покриття.

Отже, при формуванні покриттів важливо забезпечити гарну пристосованість полімеру до поверхні на початковому етапі. На наступному етапі необхідно контролювати температурний режим, щоб уникнути утворення дефектів через термічні реакції. Заключний етап має сприяти правильному формуванню структури покриття.

Вивчення вказали на те, що використання ультразвуку під час формування підкладки поліпшує текучість розплавів полімерних матеріалів. Результати демонструють, що під впливом ультразвуку об'єм розплавленої полімерної краплі зростає значно швидше порівняно з процесами без ультразвуку (див. рис. 4.1).

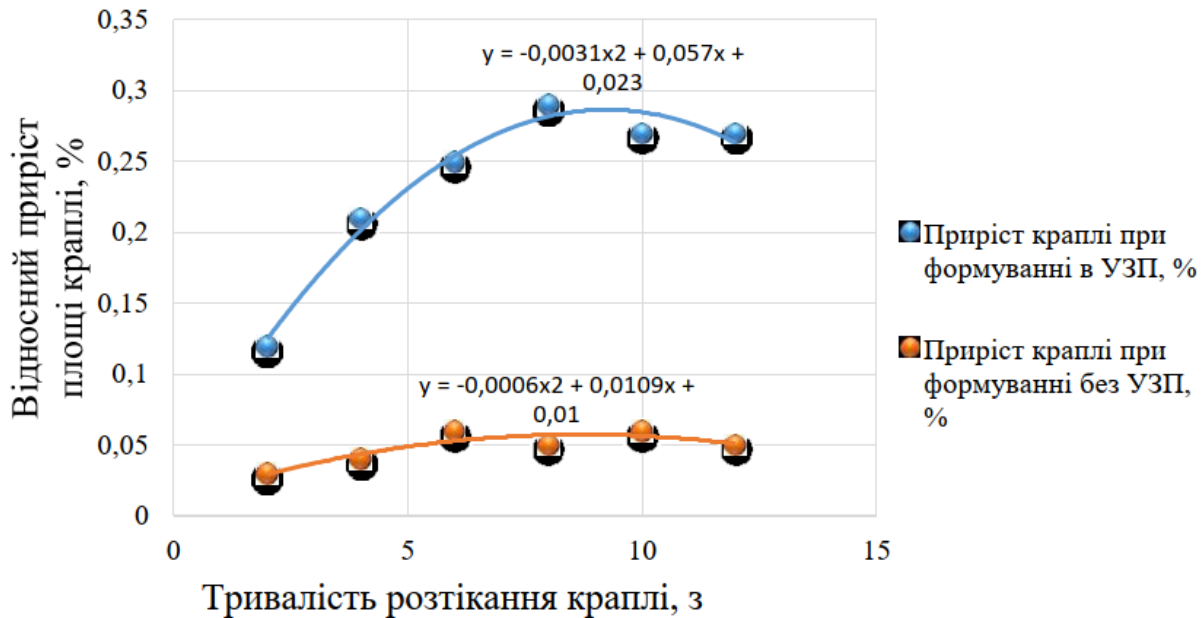


Рис. 4.1. Зміни в процесі розтікання розплавленої краплі полімеру при температурі  $180 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Під впливом УЗП крапля досягає найбільшої площі контакту з підкладкою за 8 секунд, у той час як без УЗП це триває 10 секунд.

На зображенні 4.2. представлені краплі на початковому етапі а, б та після їхнього формування в, г. Крапля на лівому зображенні утворювалася без використання УЗП, тоді як на правому - під впливом УЗП. Відмінності у розмірах крапель на стадії а порівняно з б виникають через різний розмір твердих часток, що брали участь у процесі, що зокрема вплинуло на початковий об'єм краплі.

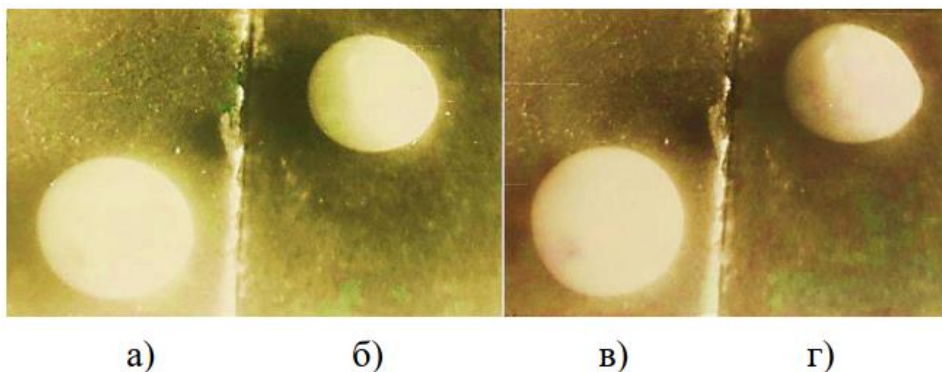


Рис. 4.2. Динаміка розтікання краплі з розплаву полімеру: а, б - на стартовій стадії; в, г - на завершальному етапі; а, б - без застосування УЗП; б, г - із використанням УЗП.

Аналіз форм крапель в перерізі, який знаходиться вертикально до підкладки (див. рис. 4.3), виявив, що обидві краплі нагадують сегмент кулі,

проте з відмінними величинами кутів  $\theta$ . Конкретно, кут для краплі, яка була створена під дією УЗП, відрізняється на 20...28% від кута краплі без впливу УЗП.

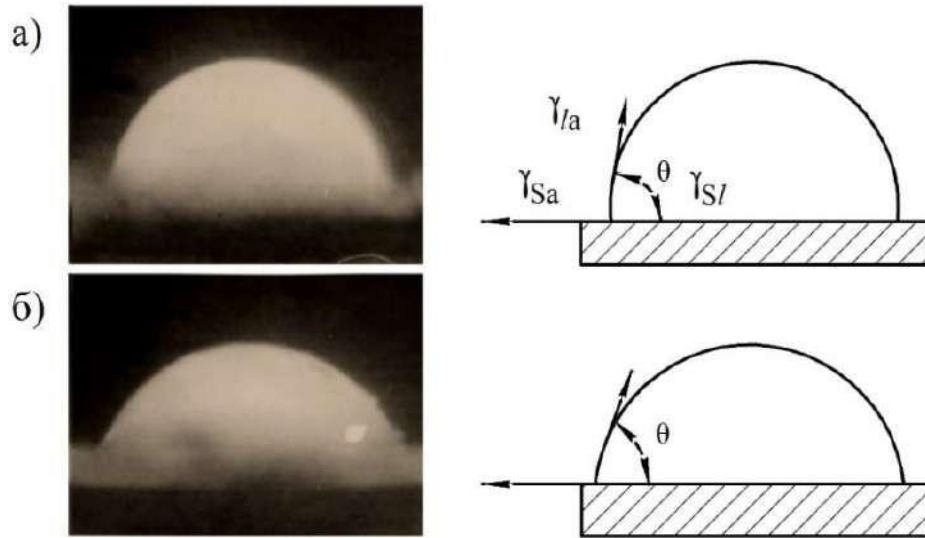


Рис. 4.3. Форма краплі розплавленого полімеру, створена за стандартних умов (а), у порівнянні з тією, що була сформована в УЗП (б).

Технічні параметри створення покриттів визначають адгезійну якість між покриттям та підкладкою. Дослідження впливу УЗК на адгезійні характеристики вказує на те, що оптимальний адгезійний контакт досягається за схемами II, IX, X та XII, як представлено на рис. 4.4.

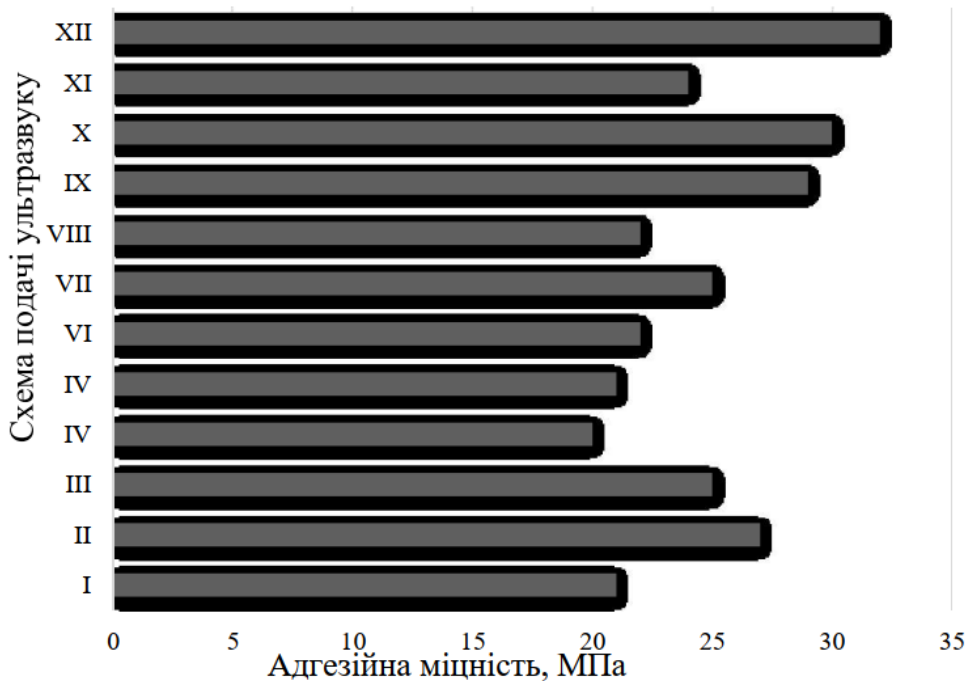


Рис. 4.4. Відображення впливу схеми подачі УЗК на адгезійну якість покриттів: температура формування в діапазоні  $210 \pm 10^\circ\text{C}$ ; час формування становить  $15 \pm 7$  хв; використовується матеріал підкладки АЛ4.

У всіх цих схемах притаманний УЗП на початковому етапі топлення порошкоподібної композиції. Це, можливо, допомагає підвищити реальну площу взаємодії адгезиву з підкладкою, завдяки глибокому проникненню розталеного полімеру у мікро-нерівності та пори підкладки, підсиленню дифузії макромолекул у металічну структуру та активному видаленню газових бульбашок з контактної зони під час формування покриття.

На малюнку видно, що адгезійна міцність зростає (досягаючи 29 МПа) під дією ультразвуку на підкладці перед застосуванням порошкової композиції та під час нанесення покриття (за схемами IX і X). Цей ефект, ймовірно, виникає завдяки здатності ультразвуку видаляти забруднення з поверхні, забезпечуючи тим самим краще з'єднання підкладки і розплавленого полімеру, що підтверджується результатами експериментів.

Ультразвук, застосований за XII схемою, допомагає досягти максимальної адгезійної міцності в 32 МПа. Коли покриття створюється за цією схемою, на підкладку діє ультразвукова хвиля з частотою 20 кГц та амплітудою, що поступово зменшується, близько експоненційно. Використовуючи ультразвук в імпульсному режимі, можна отримати покриття з відмінною кристалічністю і рівномірністю компонентів. Важливо також зменшувати інтенсивність ультразвуку відповідно до експоненційної залежності, щоб уникнути резонансних ефектів і забезпечити стабільність процесу формування структури.

Представлена матриця для експерименту, яка базується на незалежних факторах. Ця матриця була розроблена після аналізу даних з рисунків 4.1 та 4.4. За допомогою поліномів II ступеня було припущено, що модель, використана для експерименту, є адекватною. Це підтверджено після статистичної аналізу результатів за методом, описаним у роботі.

Дисперсії отриманих відгуків були порівняні, а за допомогою критерію Фішера перевірено їх відповідність загальній сукупності. Виявлено, що найбільша дисперсія для  $y_1$  становила 65,84 МПа, а найменша для  $y_3$  – 60,4 МПа. Розрахунок за критерієм Фішера показав значення 1,09, що є меншим за табличне. Програма Microsoft Excel підтвердила рівність дисперсій. Крім того,

за допомогою вбудованих функцій Excel та програми Statistica 10.0 було проведено аналіз отриманої моделі, зокрема її коефіцієнтів та адекватності.

$$Fp \leq FT \quad (4.1)$$

Використовуючи програмний модуль Statistica 10.0, було проведено перетворення Бокса-Кокса для отримання параметрів критеріїв згоди Пірсона та Колмогорова. Деталі цього процесу можна знайти в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Дані перетворення Бокса-Кокса в ПМ Statistica для визначення критеріїв згоди.

	Перетворення залежної змінної Б-К: Адгезійна міцність вимірюється в МПа і дорівнює 4. Є 3 рівні факторів, 1 блок і залишок. Загальний показник адгезійної міцності SS становить 8,342449 МПа.			
	Лямбда	SSE(I)	Xi2(1)	p
Статистика	0,220619	79,95718	6,068850	0,013764

Відповідність прогнозів моделі до лабораторних даних адгезійної міцності була перевірена за допомогою критеріїв згоди:

За допомогою ПМ Статистика було визначено значення критерію Пірсона (Хі-квадрат) яке дорівнює  $\chi^2=6,07$ . Це значення менше порівняно з табличним  $P(6;3) = 111$ . Отже, математична модель добре описує фактичний розподіл згідно критерію згоди Пірсона.

За критерієм Колмогорова отримане значення ( $p[\lambda=0,22]=0,485$ ) близько до 0,5 та відповідає максимальному допустимому значенню критерію. Це свідчить про випадковий характер різниці між теоретичними та експериментальними результатами.

На підставі аналізу результатів тестів були отримані рівняння регресії, які відображають залежність адгезійної міцності від змінюваних вхідних параметрів у кодованій формі змінних.

$$AP = 22,104 - 1,9 \cdot 1 + 4,771 \cdot 2 - 0,143 \cdot 3 + 0,561 \cdot 4 - 1,9 \cdot 2 + 1,67 \cdot 2 + 1,67 \cdot 2 + 1,57 \cdot 2 - 2,32 \cdot 1 \cdot 2 \quad (4.2)$$

З даних таблиці 4.2 видно, що у рівнянні залежності міцності всі коефіцієнти взаємодії, окрім  $x_1x_2$ , не є важливими. Це співпадає з висновками, отриманими на основі критерію Стьюдента.

Таблиця 4.2. Оцінювання ефектів для рівнянь регресії.

Фактор	Оценки эффектов; R-кв.=,93626;Скор.,86189 (Таблица 27 опытов.ста) 4 3-х уровневые ф, 1 Блоки; Остаточн.SS=8,342449 ЗП Адгезионная прочность, МПа						
	Эффект	Ст.Ош.	t(12)	p	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред	Козф.
Сред/Св.член	22,10437	0,602989	36,65798	0,000000	20,79057	23,41817	22,10437
(1)Температура формирования, °C(L)	-3,80640	1,556022	-2,44624	0,030804	-7,19668	-0,41612	-1,90320
Температура формирования, °C(K)	6,57132	1,385834	4,74178	0,000479	3,55184	9,59079	3,28566
(2)Продолжительность формирования, мин.(L)	9,54263	1,330896	7,17008	0,000011	6,64285	12,44240	4,77131
Продолжительность формирования, мин.(K)	3,34139	1,776049	1,88136	0,084399	-0,52828	7,21107	1,67070
(3)Частота УЗК, кГц(L)	-0,28519	1,480336	-0,19265	0,850454	-3,51056	2,94018	-0,14259
Частота УЗК, кГц(K)	3,34139	1,776049	1,88136	0,084399	-0,52828	7,21107	1,67070
(4)Амплитуда УЗК, мин.(L)	1,12175	1,335214	0,84013	0,417261	-1,78743	4,03093	0,56088
Амплитуда УЗК, мин.(K)	3,14139	1,776049	1,76875	0,102322	-0,72828	7,01107	1,57070
1L на 2L	-4,64470	1,674406	-2,77394	0,016838	-8,29292	-0,99649	-2,32235
1L на 3L	0,52296	1,651924	0,31658	0,757005	-3,07627	4,12219	0,26148
1L на 4L	0,30530	1,674406	0,18233	0,858366	-3,34292	3,95351	0,15265
2L на 3L	0,65757	1,579501	0,41631	0,684530	-2,78387	4,09900	0,32878
2L на 4L	-0,38462	1,413098	-0,27219	0,790106	-3,46350	2,69425	-0,19231
3L на 4L	-1,24357	1,623971	-0,76576	0,458619	-4,78190	2,29476	-0,62178

В таблиці 3.2 перший стовпець справа містить коефіцієнти для нелінійного рівняння регресії з урахуванням перекодованих чинників. Перші два стовпці представляють коефіцієнти рівняння без перекодування. Однак для аналізу зручніше використовувати перекодовані значення, де всі чотири чинники мають однаковий масштаб і знаходяться у діапазоні від -1 до +1.

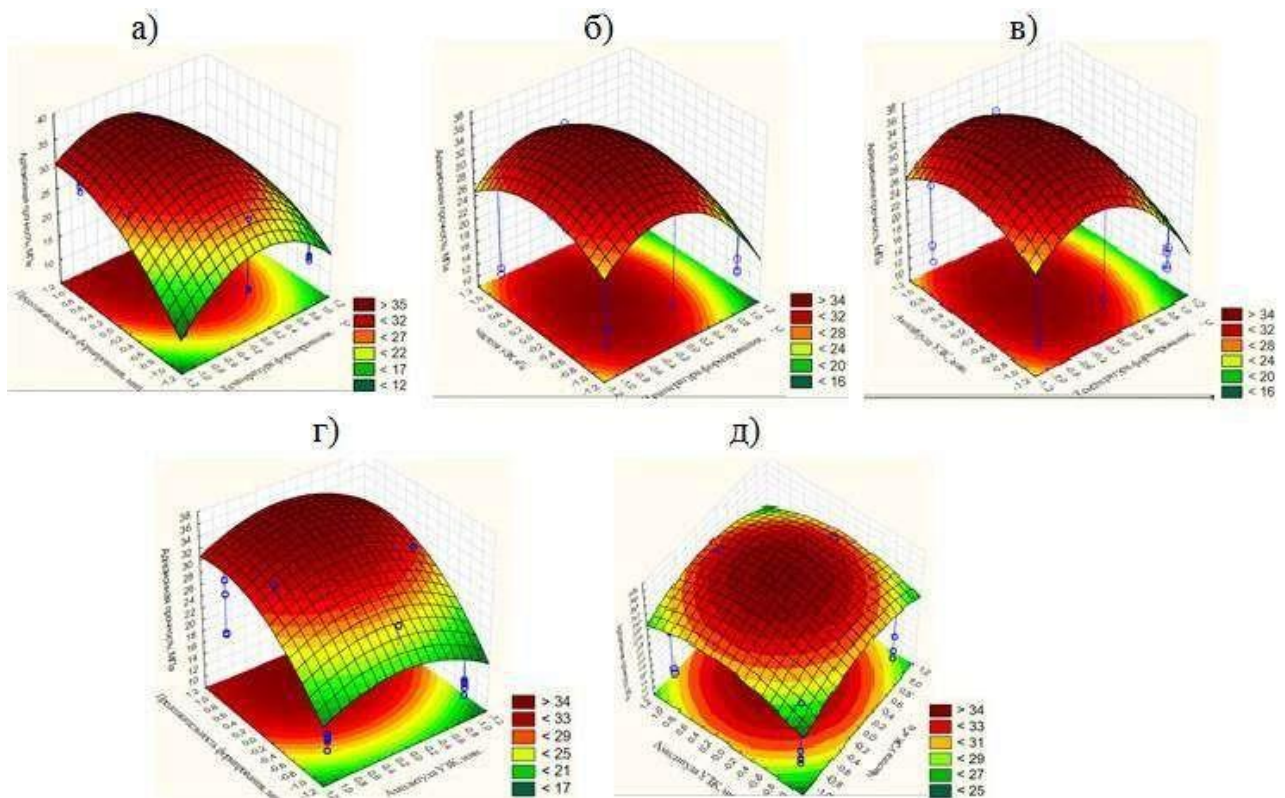
Для вдосконалення умов експерименту було встановлено взаємозв'язок між відгуком "адгезійна міцність" та змінними факторами. Аналіз цього взаємозв'язку було візуалізовано за допомогою тривимірних графіків, створених у програмному модулі Статистика.

Для детального аналізу області оптимального відгуку в програмному модулі Статистика існує інструмент "Прогнозування через функцію бажаності". Використовуючи введені значення кодованих факторів:  $x_1 = -0,288$ ;  $x_2 = 0,812$ ;  $x_3 = 0,002$ ;  $x_4 = 0,057$ , отримано передбачене значення відгуку  $y = 35,26$  МПа з межами від 31,57 до 38,95, що базується на 95% рівні впевненості (див. ілюстрацію 4.5).

Аналізуючи графік 4.5, виділяються ключові фактори для досягнення оптимальних показників: температура формування в діапазоні  $x_1 = -0,8 \dots 0,4$  °C та час формування  $x_2 = 0,0 \dots 1,0$  хв. Контурна лінія на рис. 4.5. (г) демонструє розподіл частоти за амплітудою УЗК у центрі області змінних. Проекційні контурні лінії краще відображають діапазон змінних. З цього можна зрозуміти, що подальше підвищення температури покриття за межі 0,4 кодованих одиниць



не є раціональним. А зменшення тривалості процесу нижче середнього значення призведе до погіршення адгезійних властивостей покриття.



4.5. Зображення залежності "адгезійної міцності" від таких параметрів:

а) Взаємодія між довжиною процесу і температурою нанесення; б) Комбінація інтенсивності звуку і температури нанесення; в) Поєднання сили ультразвуку і температури нанесення; г) Співвідношення довжини процесу і сили ультразвуку; д) Взаємодія між силою ультразвуку і швидкістю звукових хвиль.

При оптимальному співвідношенні параметрів  $x_1 \dots x_4$  можливо досягти міцності до 42 МПа, що вище від тих результатів, які були отримані протягом дослідження. Це свідчить про потенційне покращення адгезійної міцності з мінімальними змінами вхідних даних. Це підтвердження теорії І.А. Риб'єва про те, що найкращі результати досягаються лише за наявності оптимальних умов.

Основним показником для оцінки, як змінні впливають на результат, є коефіцієнт детермінації  $R^2$ . Цей показник допомагає прогнозувати результати за допомогою програмного засобу.

Аналіз даних показав, що очікуваний рівень статистичної відповідності  $R^2 = 0,95$ . Проте, при порівнянні прогнозованих значень моделі із дійсними даними лабораторії, кореляція, розрахована в Excel за допомогою функції



КОРРЕЛ, дорівнює  $R^2=0,593$ . Цей показник є добрим і вказує на високу здатність моделі передбачати результати.

Збільшення адгезійної міцності покриття на основі АЛ4 завдяки УЗП, можливо, зумовлено впливом ультразвуку на прискорення термічних та окислювальних реакцій, а також особливостями структури поверхні підкладки.

Слід відмітити, що вплив УЗП на адгезійну міцність менш помітний для покриттів, які базуються на чавунних підкладках. Це пов'язано із включеннями графіту на межі фаз, що знижують якість зв'язку між полімером та підкладкою.

Покриття, нанесені на оброблені фосфатом поверхні, виявляють покращену адгезійну міцність порівняно з тими, які нанесені на нефосфатовані поверхні. Так, для сталевих фосфатованих поверхонь міцність зростає приблизно на 6...16%, тоді як для алюмінієвих поверхонь, попередньо оброблених цинкофосфатом, цей показник вищий - в межах 12...18%. Також було виявлено, що покриття, створені в УЗП, демонструють збільшення міцності.

#### **4.2 Критерії для покриття під час модернізації місць закріплення підшипникових блоків**

Оскільки полімери мають широкий спектр фізико-механічних характеристик, при аналізі покриттів на їх основі важливо розглядати способи їх виготовлення, нанесення та умови використання.

Критерії для покриття, яке використовують у відновленні місць для підшипників, залежать від технічних умов його створення, включаючи температурні параметри, силові взаємодії та післяпроцесну термообробку. Однак у наукових джерелах бракує настанов щодо оптимальних технологій для створення покриттів з матеріалів, аналогічних досліджуваному у цій роботі. Немає також інформації про те, як ультразвук може впливати на характеристики покриття, такі як водопоглинання, щільність або твердість, які є важливими для довговічності відновлених деталей.

Отже, для визначення оптимальних умов відновлення опорних точок підшипників у вузлах кочення за допомогою композитних полімерних покриттів потрібно розглянути наступні аспекти:

Взаємодія температурного режиму та швидкості охолодження з властивостями поглинання води та масла та щільністю покриттів, які накладаються з використанням ультразвуку та за стандартних умов.

Взаємодія температурного режиму з жорсткістю та стійкістю до ударів у покриттях.

Характеристики, такі як здатність до водо- та маслопоглинання та щільність покриттів, аналізувались для зразків відділених від основи. Ці покриття були сформовані з використанням запропонованої суміші в електростатичних умовах, з додатковим застосуванням ультразвуку або без нього. Стандартна товщина таких покриттів становила приблизно 0,5 мм з допустимим відхиленням  $\pm 0,05$  мм.

Перед вимірюваннями зразки проходили етап сушіння у спеціалізованій сушильній камері близько доби при температурі біля  $50^{\circ}\text{C}$ . Після цього їх систематично охолоджували до кімнатної температури в присутності сушілого речовини. Далі зразки точно взвішували на прецизійних терезах. Наступним етапом було занурення у різні рідини, зокрема дистильовану воду та масло, на термін біля доби. Після цього знову взвішували зразки, повторюючи процедуру до тих пір, поки два послідовні взвішування не вказували на стабільний результат.

Дослідження вологопоглинання проводилися при кімнатній температурі, тоді як маслопоглинання досліджувалося при двох різних температурах: помірній та підвищеній.

Параметри щільності покриттів були виміряні за різних умов: залежно від температурних режимів і середовищ охолодження, таких як вода, повітря та в умовах печі.

Визначення твердості здійснювалося за допомогою приладу МПВ-1, базуючись на глибині проникнення кульки діаметром 5 мм при навантаженні в 50 кг. Експерименти проводили на покриттях, що мали товщину приблизно 1 мм, які були застосовані до сталевих вибірок.

Для оцінки ударної міцності покриттів, які були нанесені на сталеві пластини розміром 70x150x1,0 мм, використовували пристрій У-1А. Міцність оцінювалася на основі комбінації ваги вантажу та максимальної висоти падіння вантажу, при якій не спостерігалось пошкодження полімерного шару.

Для аналізу фізико-механічних характеристик, зразки піддавали стабілізації в ексикаторі впродовж 48 годин за кімнатних умов. Такий підхід допомагає забезпечити надійність результатів вимірювань, враховуючи усі внутрішні процеси, такі як релаксація та структурне утворення.

#### **4.3 Умови створення покриттів впливають на їхню здатність поглинати вологу та масло, а також на їхню щільність**

Композиційні полімерні матеріали відрізняються тим, що вони стійкі до корозії при використанні в воді. Проте вони можуть поглинати вологу з-за взаємодії між полярними групами полімеру та рідиною, що називається гігроскопічністю. Це може вплинути на розміри деталей і їхні механічні властивості, що веде до погіршення надійності та тривалості служби вузлів.

Визначення властивостей поглинання вологи та масла є ключовим для якості покриття, оскільки ці показники можуть вказувати на дефекти в покритті. Отже, розробка методів для отримання покриттів з мінімальним поглинанням є критичною для гарантії якості виробів з композиційних полімерних матеріалів.

Дослідження показали рис. 4.6, що при підвищенні температури формування вологопоглинання матеріалу зростає. Це може бути зумовлене збільшенням утворення пор через термічний розпад матеріалу.

При однакових температурних умовах покриття, сформовані з використанням УЗП, показали менше водопоглинання (лише 1,13%). Натомість покриття, створені без УЗП, поглинали воду у 14 разів більше, досягаючи 16%. Така різниця, можливо, пов'язана з більш упорядкованою структурою покриттів, отриманих з допомогою УЗП. Зменшене водопоглинання у покриттів з УЗП може свідчити про їх більшу структурну стабільність.

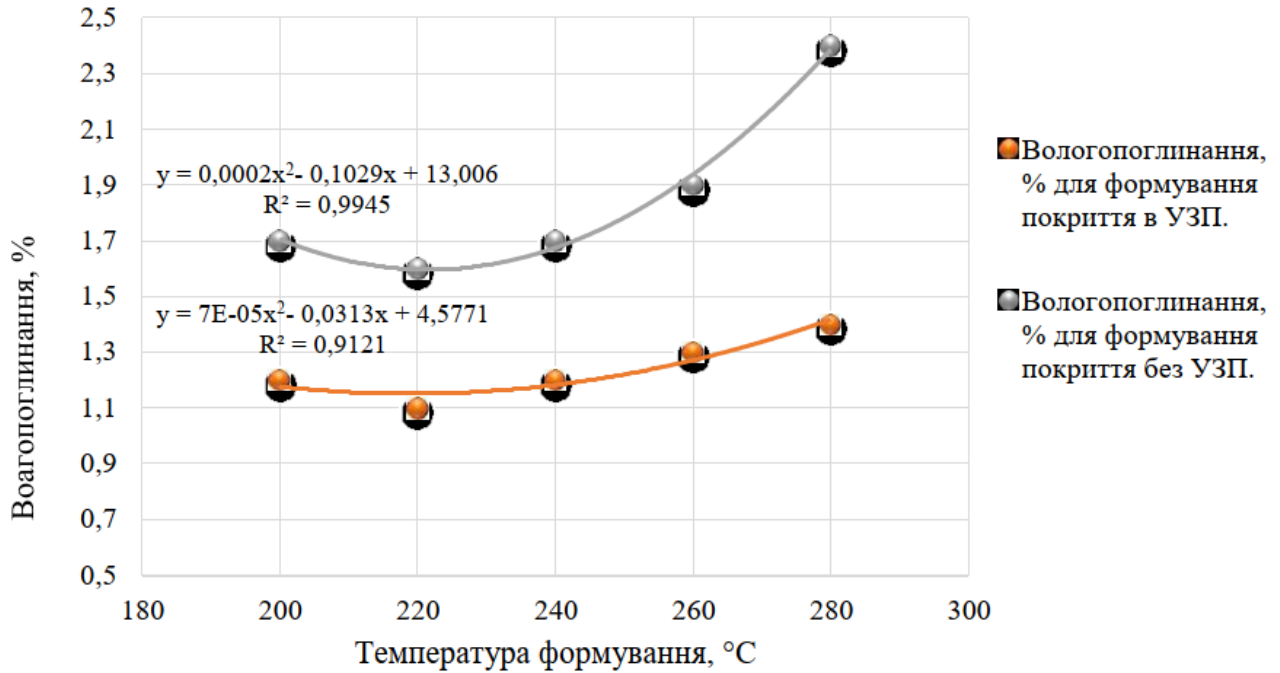


Рис. 4.6. Взаємозв'язок між температурою створення покриттів та їх здатністю абсорбувати вологу при 23°C.

Можливо, при використанні ультразвуку при певних температурах відбувається виведення газових бульбашок з покриттів та оптимізація їх структури. Схожі тренди помічені при дослідженні як покриття поглинає масло в залежності від температури його створення.

При взаємодії покриттів з олією підвищеної температури відбувається збільшення маслопоглинання (див. рисунок 4.7). Особливо при переході температури олії від 20°C до 60°C маслопоглинання покриттів, що були створені без застосування УЗП, збільшується приблизно на 30%. Для покриттів, отриманих з використанням УЗП, цей показник зростає на 20%.

Пікові показники маслопоглинання спостерігаються при температурах 210-230°C. Для покриттів, що створені без використання УЗП, ці показники становлять 0,29 при 60°C та 0,22 при 20°C. Покриття, що були сформовані за допомогою УЗП, демонструють значення 0,15 при 60°C та 0,12 при 20°C.

Отже, використання ультразвуку допомагає зменшити маслопоглинання на 1,4 рази, зокрема завдяки глибшому зшиванню полімеру, кращим адгезійним взаємодіям у композиції та оптимальному розміщенню структурних компонентів. Основна мета технологічного процесу полягає в отриманні якнайщільніших покриттів. Аналіз залежності щільності від умов формування

та охолодження показав, що найбільша щільність досягається при температурі 200...230°C при повільному охолодженні.

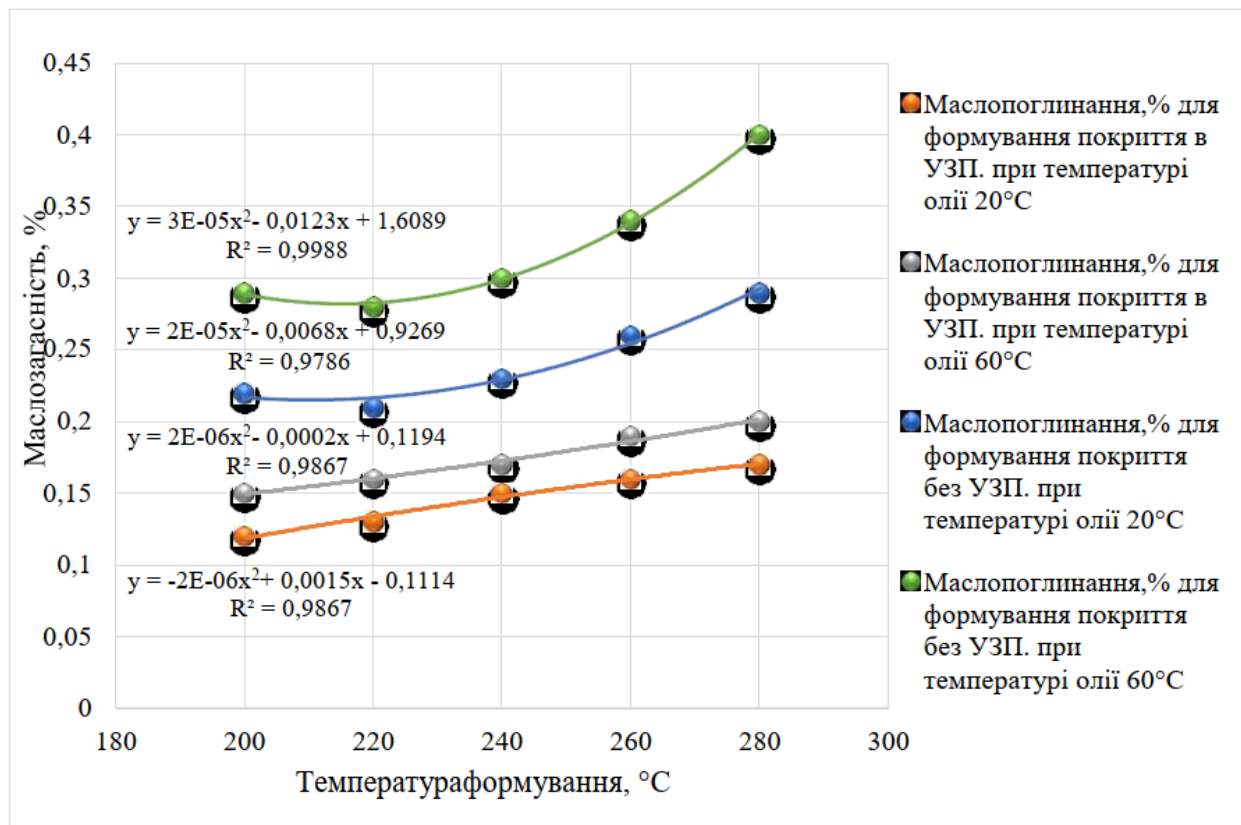


Рис. 4.7. Залежність маслопоглинання від температури створення.

Щільність упаковки макромолекул в полімерних покриттях залежить від ступеня їх кристалічності. Якість кристалічної структури, у свою чергу, впливається умовами, за яких формуються покриття. Повільний процес охолодження сприяє формуванню більш кристалічних структур. Крім того, ультразвук покращує щільність покриття. Зокрема, покриття, що формуються під впливом ультразвуку, виявляються менш чутливими до змін у температурі та швидкості охолодження. Це зв'язано з тим, що ультразвук здатний регулювати структурні процеси та оптимізувати кристалічність полімерного матеріалу.

Використання ультразвуку під час формування полімерних покриттів сприяє покращенню їх якості, зокрема, збільшенню щільності та зменшенню поглинання рідин. Проте навіть без ультразвуку можна досягти високої щільності покриття, особливо при високих температурах формування та повільному охолодженні.

На основі проведених випробувань визначено, що для отримання покриттів із скло наповнених полімерних композицій з найкращими властивостями слід використовувати температуру 210...230°C, прискорювач у формі УЗП та поступове охолодження разом з обладнанням.

Полімерні покриття відзначаються здатністю абсорбувати коливання. Це робить їх корисними в механізмах з циклічними навантаженнями, допомагаючи підвищити ефективність роботи, знижуючи при цьому шум і вібрацію.

Здатність абсорбувати енергію вібрацій визначається особливостями молекулярної будови полімеру, його умовами використання (температурою, вологістю, тиском) та наявністю недоліків чи порозистості.

Властивості, такі як твердість та здатність витримувати удари у покриттях, відзначаються змінами відповідно до умов їх створення. На діапазоні температур 200...220°C, де не відбувається руйнування матеріалу, ці характеристики досягають піку. При цьому покриття, створені під впливом УЗП, виявляються на 10...30% твердішими та на 6...12% стійкішими до ударів порівняно з аналогічними покриттями, створеними без використання УЗП. Це пов'язано з більшою густиною та адгезивними якостями покриття при використанні УЗП, що відповідає результатам, зазначеним у попередніх розділах цього дослідження.

#### **4.4 Фактори, що визначають ефективність роботи автомобільних підшипників**

Вартість відновлення деталі виправдовується, якщо після ремонту вона може служити достатньо довго, відповідно до встановлених стандартів. Сучасні вимоги передбачають, що термін служби ремонтovanого обладнання має становити принаймні 80% від строку служби нового. Тому актуальним є вивчення якості покриттів для ремонту, перевірка ефективності відновлених деталей та аналіз надійності ремонтovаних систем.

Ефективність деталей, ремонтovаних за допомогою полімерних покриттів, великою мірою залежить від зчеплення покриття з поверхнею [78]. У реальних умовах використання деталей, такі фактори як волога, коливання

температур та механічні навантаження можуть впливати на це зчеплення. Важливо відзначити, що сьогодні в науковій літературі недостатньо даних про стійкість адгезійних покриттів, зроблених із порошкових композитів. Також не існує чітких настанов стосовно оптимізації механічних характеристик полімерних покриттів для реставрації підшипникових деталей авто.

Довгість служби посадкових місць під підшипники значною мірою залежить від взаємодії контактуючих поверхонь. Під час цілеспрямованої обробки поверхонь можна оптимізувати їх взаємодію та збільшити ефективність з'єднання.

Ключовими елементами, які впливають на якість сполучення, є допустимі розміри деталей та структура контактних поверхонь.

Геометричні характеристики сполучення, товщина захисного покриття, режим навантаження, вид підшипника, умови його використання, а також фактори монтажу впливають на точність допуску та структуру поверхні. Особливо важливі є фізичні характеристики покриття відремонтованих компонентів.

У наукових джерелах можна знайти часткові настанови щодо використання покриттів для відновлення деталей, але вони часто фокусуються на певних матеріалах і можуть не враховувати всі важливі аспекти сполучення. Тому важливо досліджувати, як різні фактори, такі як навантаження, характеристики покриття та геометрія деталі, впливають на тривалість служби відновлених компонентів.

Отже, аби створити надійну методику відновлення місць для підшипників в автомобільних вузлах, яка б гарантувала тривалий термін служби відремонтованих деталей, слід розглянути наступні аспекти:

Вплив вологи та коливань температури на адгезійні властивості.

Як спосіб з'єднання підшипника кочення із відновленим отвором впливає на тривалість служби відремонтованих деталей.

Створення методичних вказівок для відновлення місць під підшипники за допомогою нової композитної обробки.

Застосовуючи методи математичного плану експерименту, проведено дослідження щодо довговічності покриттів, які були нанесені на дану деталь,

враховуючи вплив умови навантаження і товщин нанесених покриттів. Об'єктом випробувань були підшипниковий вузол опори кочення, які складають із підшипникового вузла генератора та підшипника кочення. Для визначення номінального діаметра посадочного отвора було прийнято значення 72 мм.

Основним показником тривалості служби був час до початку, коли відбулася повороту кільця зовнішнього підшипнику у відповідному отворі.

Експериментальні тести були проведені відповідно до протоколу. Умови випробування і однокові дані були обрані таким чином, щоб наблизитися до експлуатаційних умов відновленої деталі, з такими визначеними параметрами:

тип навантаження - радіальне коливальне;

швидкість обертання валу –  $1800^{-1}$  обертів за хвилину;

товщина покриття у діапазоні  $(0,5 \pm 0,4 \text{ мм})$ ;

навантаження на опори у межах  $(4 \pm 3 \text{ кН})$ .

Умова та висновки з експерименту представлені в таблиці 4.4.

Дослідження було спрямоване на аналіз того, як впливають допуски розмірів і шорсткість поверхонь на міцність і тривалість служби відремонтованих підшипників. Окрім цього, було вивчено, як різні методи і частота збирання впливають на спосіб посадки підшипників після їх відновлення.

Вимірювання шорсткості проводили, використовуючи звичайний параметр  $R_a$  та параметр форми  $t_p$ . Ці показники найкраще відображають характеристики контактної жорсткості в пресованих з'єднаннях.

Шорсткість вимірювалася аналізом профілограм, отриманих за допомогою профілографа-профілометра "Калібр 201", який описує методи вимірювання шорсткості поверхні за допомогою профільного підходу, включаючи контактні профілографи-профілометри, їх типи та ключові характеристики.

Для отримання різних рівнів шорсткості в посадковому отворі використовувались різні методи механічної обробки та різноманітні форми ріжучих інструментів. Обробка відбувалася на токарному станку моделі 1К 62.



У випадках, коли це було необхідно, посадкові отвори додатково шліфували за допомогою дрібнозернистої шліфувальної шкіри. Вибір режимів різання та конфігурації різців здійснювався відповідно до встановлених норм.

Таблиця 4.4. Параметри експерименту та висновки з дослідження стійкості покриттів у залежності від їх товщини та навантаження на них.

№ досліджу	План у кодованих змінних		План у натуральних змінних		Результати експерименту	
	x1	x2	Товщина покриття, мм	Навантаження, кН	Luз1, год.	L2, год.
1	-1	0	0,1	4	465	310
2	+1	0	0,9	4	365	190
3	+0,5	+0,87	0,7	7	250	10
4	+0,5	-0,87	0,7	1	450	270
5	-0,5	+0,87	0,3	7	300	75
6	-0,5	+0,87	0,3	1	460	360
7	0	0	0,5	4	410	240
8	0	0	0,5	4	400	252
9	0	0	0,5	4	410	252
10	0	0	0,5	4	412	236

При повторному збиранні з'єднань умови контакту істотно відрізняються. Оскільки основні зміни мікронерівностей поверхні виникають під час механічного збирання, було проведено аналіз впливу початкового натягу та кількості монтажів на зміну натягу і шорсткості. Дослідження виконували згідно з планом, представленим у таблиці 4.5.

З нашого аналізу випливає, що найбільша тривалість служби пар підшипникових вузлів, які були відновлені за допомогою полімерних покриттів, досягається при мінімальному натягу їх з'єднань. Це вказує на необхідність подальшого дослідження взаємозв'язку між довговічністю та міцністю з'єднань залежно від натягу. Результати показали, що висока тривалість служби досягається при невеликому натягу деталей. Зменшення

тривалості служби у з'єднаннях без натягу або зі зазором може бути пояснено тим, що зовнішнє кільце підшипника відразу починає ковзати по посадочній поверхні. Оскільки пластмаси мають низькі пружні властивості, мікронерівності на посадочній поверхні швидко вирівнюються, що призводить до утворення зазору між підшипником та корпусом.

Таблиця 4.5. Параметри експерименту та висновки щодо впливу початкового натягу і кількості монтажів на зміну натягу та шорсткості.

№ досліджу	План у кодованих змінних		План у натуральних змінних		Натяг, мкм	тсб, %
	x1	x2	Число збірок	Початковий натяг, мкм		
1	-1	0	0	50	50	25
2	+1	0	12	50	20	50
3	+0,5	+0,87	9	80	30	70
4	+0,5	-0,87	9	20	10	42
5	-0,5	+0,87	3	80	50	60
6	-0,5	-0,87	3	20	15	35
7	0	0	6	50	25	50
8	0	0	6	50	25	50
9	0	0	6	50	30	45
10	0	0	6	50	25	50

Через вплив силових і теплових деформацій, які виникають під час тертя та ударних навантажень, адгезія між з'єднуваними поверхнями знижується, що призводить спочатку до руйнування поверхневого шару, а згодом і до пошкодження всього покриття.

Варто відзначити, що тривалість служби покриттів, утворених ультразвуковим пульсуванням, виявилася високою навіть при відсутності натягу. Такі покриття мають кращі фізико-механічні характеристики порівняно з тими, що формуються в звичайних умовах. Найвища довговічність, до 320

годин, спостерігається у з'єднаннях з натягом від 15 до 40 мкм. Для з'єднань з натягом 20 мкм (позначені на графіку колом), випробування були проведені після двох монтажів, через великий знос підшипника та вала.

За натягу в діапазоні 15-40 мкм площа контактної зони між з'єднаними поверхнями зростає завдяки досягненню збалансованої шорсткості. Цю шорсткість можна описати як таку, що встановлюється на межі контакту через процеси повзучості та релаксації полімерного матеріалу.

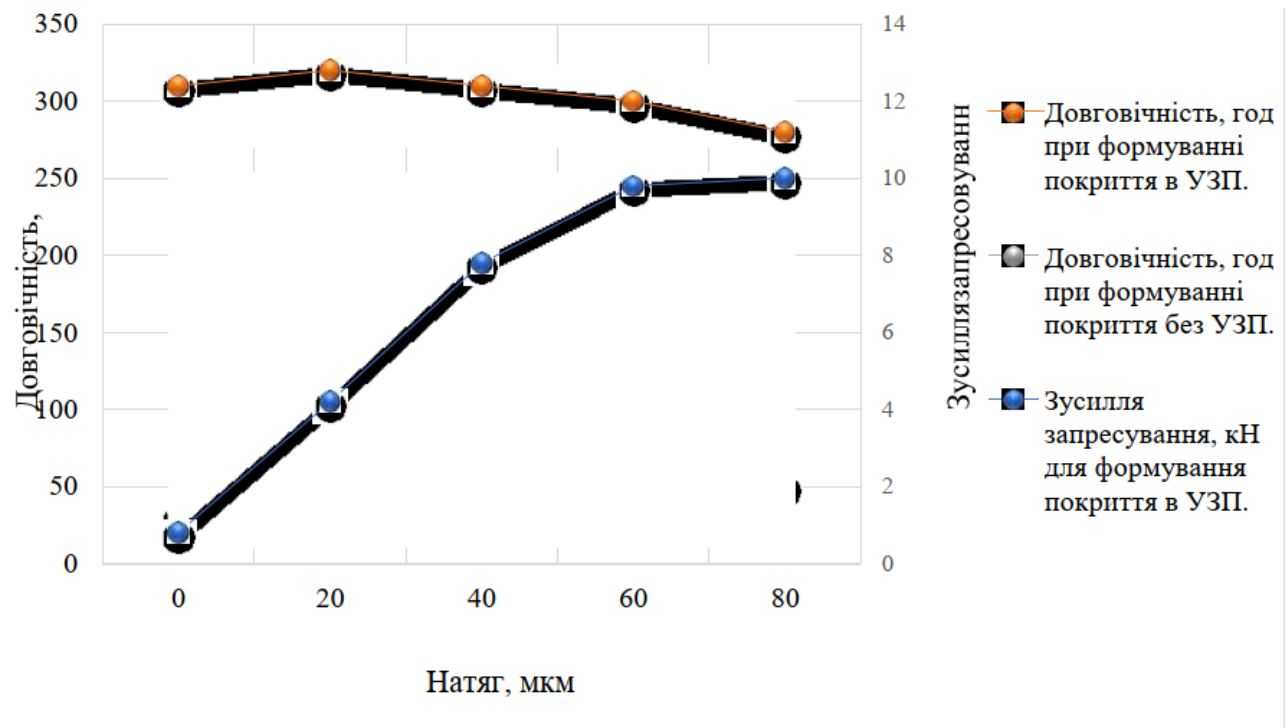


Рис. 4.7. Аналіз впливу натягу на тривалість служби.

При натягу понад 40 мкм також досягається рівноважна шорсткість, однак у цьому випадку спостерігаються значні деформаційні зміни у покритті та на границі розділення фаз в адгезійній контактній зоні.

Це явище виникає через те, що під час впресування підшипника найбільш виступаючі мікронерівності відрізаються або зміщуються під впливом сил зсуву, порушуючи адгезійні зв'язки між основою та клеєм. При збільшенні натягу вище 70-80 мкм цілісність покриття порушується через зрізання шару полімеру під час впресування підшипника, що унеможливорює створення належного з'єднання.

Результати дослідження вказують на те, що з'єднання міцність (сила, необхідна для його роз'єднання) значно знижується після повторних монтажів порівняно з першим монтажем. Це пояснюється тим, що мікронерівності

вирівнюються по закінченню 1-го монтажу, в результаті чого формується стабілізований тип сполучення. Залежність між цими факторами має майже характер лінійний, причому з'єднання міцність має меншу чутливість до заміни у початковому натягу.

На підставі результатів досліджень можна встановити оптимальні параметри посадки для вузлів кочення підшипників, які були відновлені за допомогою полімерних покриттів. Оскільки максимальна тривалість служби спостерігається при початковому натягу в діапазоні 15-40 мкм для покриттів, нанесених без ультразвукового пульсування (УЗП), та 0-60 мкм для покриттів, сформованих із застосуванням УЗП, рекомендовано обробляти посадкові місця відповідно до класів точності Р6 для першого випадку та N7 або Р7 для другого.

Рекомендується обробляти посадкові місця для підшипникових вузлів згідно з класом точності N7, якщо планується одноразове складання, та Р7, якщо передбачається багаторазове монтажування вузла.

Отже, використання полімерних покриттів, створених з використанням ультразвукового пульсування (УЗП) для ремонту посадкових місць підшипників кришок генераторів автомобілів, сприяє поліпшенню їх якості і дозволяє знизити вимоги до точності механічної обробки на один клас точності у порівнянні зі стандартними кришками. Це значно підвищує економічну ефективність запропонованого методу відновлення.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Вимоги пожежної безпеки при технічному обслуговуванні

і ремонті дорожніх транспортних засобів

Виготовлення і капітальний ремонт дорожніх транспортних засобів, як правило, мають здійснюватися на спеціалізованих заводах. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів мають проводитись у спеціально пристосованих майстернях або пристосованих для цієї мети гаражах з негорючих матеріалів, у яких приміщення для зберігання техніки відокремлені від зазначених майстерень відповідно до вимог будівельних норм. Забороняється технічне обслуговування і ремонт у не пристосованих для цього приміщеннях.

Електрозварювальні і фарбувальні роботи дозволяються тільки в спеціально обладнаних приміщеннях з негорючих матеріалів, забезпечених вогнегасниками і пожежним інвентарем. Зварювальні пости слід розташовувати у кабінах із негорючих матеріалів площею не менш як 3 м<sup>2</sup> кожна.

Цехи або відділення, де проводиться гаряче обкатування двигунів внутрішнього згорання, слід розміщувати в окремих приміщеннях, збудованих з негорючих матеріалів.

Автомобільну техніку, що надходить на технічне обслуговування, поточний ремонт тощо, слід очищати ззовні від бруду і залежно від виду ремонту чи обслуговування вузлів та агрегатів за необхідності зливати паливо і мастила, а також знімати газові балони.

Для миття та знежирювання треба застосовувати негорючі сполуки, пасти, розчинники та емульсії, а також ультразвукові та інші пожежобезпечні установки. Тільки в окремих випадках, коли негорючі суміші не забезпечують потрібної за технологією чистоти обробки, допускається застосування відповідних горючих або легкозаймистих рідин. Мити та знежирювати легкозаймистими або горючими рідинами треба в окремих приміщеннях або на відокремлених виробничих ділянках і постах, обладнаних ефективними

засобами пожежогасіння та шляхами евакуації, за умови суворого додержання потрібних заходів пожежної безпеки.

На постах відкритого шлангового (ручного) і закритого (механізованого) миття джерела освітлення, проводки та силові двигуни повинні бути герметичні. Електричне управління агрегатами мийної установки має бути низьковольтним (12 В). Пости відкритого шлангового (ручного) миття слід розміщувати в зоні, ізольованій від відкритих ліній електропередач і від обладнання під напругою. Підлога в приміщеннях та на ділянках, де мийуть і знежирюють деталі з застосуванням легкозаймистих і горючих рідин, має бути виконана з негорючих матеріалів, які не утворюють іскор при ударі, мати шорстку (рифлену) поверхню. Миття і знежирювання деталей слід проводити тільки при діючій припливній та витяжній вентиляції, за умови систематичного очищення мийних ванн від бруду. Мийні ванни з гасом та іншими мийними засобами, передбаченими технологією, після закінчення миття треба закрити кришками. Ванни слід обладнати пристроями аварійного зливання в підземні резервуари, розміщені поза будівлею.

Нейтралізацію деталей двигунів, які працюють на етилованому бензині, дозволяється здійснювати промиванням гасом тільки у спеціально виділених для цієї мети місцях. Використані горючі та легкозаймисті мийні речовини забороняється зберігати на постах миття, їх слід тримати в спеціально призначених місцях у щільно закритій тарі. Не допускається застосування мийних і знежирювальних рідин невідомого складу. Ці матеріали можна використовувати тільки після відповідного аналізу, визначення їх пожежонебезпечних властивостей і розроблення заходів для безпечного їх використання. У місцях миття і знежирювання за допомогою легкозаймистих та горючих рідин неприпустиме проведення робіт із застосуванням відкритого вогню та іскроутворення (електрозварювання, заточування та ін.). Забороняється застосовувати бензин для миття деталей, протирання автомобілів та обладнання. Пролиті горючі та легкозаймисті рідини слід негайно видаляти. Роботи, пов'язані з миттям і знежирюванням деталей, при використанні ЛЗР і ГР можна виконувати на спеціальних майданчиках, на відстані не менше 10 м від виробничих приміщень.

Опалювання виробничих приміщень заводів, майстерень і гаражів має бути пароповітряним або центральним водяним. Пічне опалення є неприпустимим.

Забороняється проводити ремонт автомобілів із працюючим двигуном.

При ремонті карбюраторних двигунів вимикається запалювання, дизельних — паливоподача.

Забороняється виконувати виробничі операції на обладнанні з несправностями, які можуть призвести до пожеж, а також при відключенні контрольно-вимірювальних приладів, за якими визначаються задані режими температур, тиску, концентрації горючих газів, пари та інші технічні параметри.

Для зберігання мастильних, лакофарбових, горючих і легкозаймистих матеріалів слід передбачати окремі, спеціально обладнані приміщення. Використані обтиральні матеріали (промаслене клоччя, ганчір'я та ін.) слід негайно прибирати в металеві ящики з щільними кришками, а після закінчення робочого дня виносити з виробничих приміщень у спеціально відведені місця.

При обслуговуванні та ремонті автомобілів, якщо це пов'язане зі зняттям паливних баків, а також перед ремонтом паливо-проводів, через які може витікати паливо з баків, баки слід повністю звільнити від палива. Зливати паливо слід у місцях, де неможливе його загорання. Зберігати злите паливо на постах обслуговування і ремонту забороняється. Зливати відпрацьоване масло треба в металеві бочки або ємності на окремих майданчиках.

Перед ремонтом автомобіля-цистерни для перевезення легкозаймистих, горючих, а також вибухонебезпечних вантажів її слід повністю очистити від залишків вантажів, які перевозили, і надійно заземлити. Робітник, який очищає або ремонтує всередині цистерну чи резервуар з-під легкозаймистих або горючих рідин, повинен застосовувати інструмент, який не дає іскор при ударі.

Газобалонні автомобілі можуть в'їжджати на пости обслуговування і ремонту тільки після переведення їх на роботу на бензині (дизельному паливі).

Переводячи роботу двигуна на бензин, слід перекрити витратні вентилі і повністю відпрацювати газ із системи живлення (до повної зупинки двигуна), після чого перекрити магістральний вентиль і включити подавання бензину.

Перед подаванням газобалонних автомобілів у приміщення для обслуговування та ремонту слід перевірити на спеціальному посту газову систему живлення на герметичність. В'їжджати в приміщення з негерметичною газовою системою живлення забороняється. Регулювати системи живлення, запалювання, прилади газової системи живлення газобалонних автомобілів, а також ремонтувати та перевіряти газову апаратуру на герметичність дозволяється тільки в добре провітрюваному приміщенні при увімкненій вентиляції або на відкритому майданчику.

Перед перевіркою (регулюванням) приладів електрообладнання на газобалонному автомобілі слід щільно закрити всі вентиляції, перевірити герметичність газової системи живлення і старанно провітрити підкапотний простір.

При проведенні на газобалонному автомобілі ремонту, пов'язаного з виконанням зварювальних або фарбувальних робіт (включаючи штучне сушіння), газ із балонів треба випустити або злити на посту зливання газу, а балони слід дегазувати інертним газом.

Забороняється підтягувати нарізні з'єднання і знімати з автомобіля деталі газової апаратури та газопроводи під тиском.

При обслуговуванні та ремонті газової апаратури слід бути особливо обережними, не допускати іскроутворення. Ударні навантаження при цих роботах забороняються.

У приміщеннях, призначених для обслуговування та ремонту автомобільної техніки, забороняється:

- встановлювати автомобілі в кількостях, що перевищують норму, порушувати спосіб розстановки, зменшувати відстань між ними та елементами будівлі;
- встановлювати автомобільну техніку з відкритими горловинами паливних баків, а також за наявності витікання пального з паливної системи;
- зберігати легкозаймисті і горючі рідини, відпрацьоване масло, кислоти, фарби та ін.;
- заправляти автомобільну техніку паливом;
- зберігати тару з-під легкозаймистих і горючих рідин;



- захищати проходи між стелажми і виходи з приміщень матеріалами, обладнанням, тарою і т.ін.

При газовому зварюванні не допускається потрапляння масла на шланги та пальник. При електрозварювальних роботах слід заземлювати раму й кузов автомобілів. Паяти, зварювати ємності з-під легкозаймистих і горючих рідин (паливні баки, тару, та ін.) слід після їх старанної протипожежної обробки.

Перед зварюванням паливні баки слід промити гарячою водою, пропарити парою, знову промити гарячою водою з каустичною содою або іншими технічними мийними засобами, просушити гарячим повітрям за режимом, що відповідає затвердженому технологічному процесу, до повного видалення слідів легкозаймистих і горючих рідин. Зварювати або паяти слід при відкритих горловинах і пробках.

Дозволяється виконувати зварювання, наперед заповнивши ємність гарячою водою або інертним газом, що безперервно подається (азотом, відпрацьованими газами від карбюраторного двигуна). Для заповнення ємності (паливних баків) відпрацьованими газами їх слід подавати шлангом, обладнаним іскрогасником. Шланг приєднують до вихлопної труби автомобіля, що працює на малих частотах обертання колінчастого вала.

Зварювання слід виконувати при безперервному подаванні відпрацьованих газів. Для видалення газу зі зварюваної ємності можна використовувати: в паливному баці - зливний отвір; у цистерні - газовідвідну трубку.

При ремонті автомобільної техніки потрібно, щоб робоче місце для паяльних робіт було очищене від горючих матеріалів, а горючі конструкції на відстані менше 5м- надійно захищені металевими екранами від займання. Паяльні лампи слід тримати цілком справними і не рідше одного разу на місяць перевіряти на міцність та герметичність із занесенням результатів і дати перевірки у спеціальний журнал. Крім того, не рідше одного разу на рік слід проводити контрольні гідравлічні випробування тиском.

Кожна лампа повинна мати паспорт із зазначенням результатів заводського гідравлічного випробування і припустимого робочого тиску. Лампи забезпечуються пружинними запобіжними клапанами,

відрегульованими на заданий тиск, а лампи місткістю Злі більше — манометрами.

Заправляти паяльні лампи пальним і розпалювати їх слід у спеціально відведених для цього місцях. При заправленні не допускати розливання пального і застосування відкритого вогню. Щоб не допустити викидання полум'я з паяльної лампи, пальне, яке заправляється в неї, має бути очищене від сторонніх домішок і води.

Щоб не допустити вибуху паяльної лампи, забороняється'.

- застосовувати як пальне для ламп, що працюють на гасі, бензин або суміш бензину з гасом;
- підвищувати тиск у резервуарі лампи при накачуванні повітря більше допустимого робочого тиску згідно з паспортом;
- заповнювати лампу гасом більш ніж на 3/4 об'єму її резервуара;
- підігрівати пальник рідиною з лампи, накачуваної насосом;
- відкручувати повітряний гвинт і наливну пробку, коли лампа горить або ще не вихолонула;
- розбирати і ремонтувати лампу, а також виливати з неї або заправляти її пальним поблизу відкритого вогню чи курити при цьому.

При зварюванні, газорізанні і паянні забороняється ставати до роботи при несправній апаратурі.

Заряджати акумуляторні батареї слід у приміщеннях, ізольованих від інших протипожежними стінками (перешкодами) з входом через тамбур-шлюзи. Виконувати інші роботи в цих приміщеннях забороняється. Зарядні приміщення слід обладнати припливно-витяжною вентиляцією у вибухобезпечному виконанні. Припливно-витяжна вентиляція повинна включатись як перед початком, так і в кінці зарядження. Відключення вентиляції проводиться не раніш як через 1,5 год після закінчення робіт. Робота акумуляторного цеху при несправній припливно-витяжній вентиляції є неприпустимою. У приміщенні зарядки акумуляторних батарей слід передбачити блокування відключення процесу зарядження, якщо відключається вентиляція.

Для освітлення приміщення зарядки повинні застосовуватися лампи розжарювання у вибухозахисному виконанні. Електромережа для освітлення повинна виконуватись у захисній кислототривкій чи луготривкій оболонці. Електродвигуни, випрямлювані, запобіжники, вимикачі, розетки штепсельні повинні бути встановлені в приміщенні, ізольованому від приміщень зарядки акумуляторних батарей, і заземлені.

Акумуляторні батареї, встановлені для зарядки, з'єднують між собою тісно прилеглими пружинами або затискачами для кислотних акумуляторних батарей чи плоскими наконечниками для лужних акумуляторних батарей, які мають надійний електричний контакт, що виключає можливість іскроутворення. З'єднувати зажими акумуляторних батарей дротом «закручуванням» забороняється. Підключення та відключення акумуляторних батарей на зарядження проводити тільки при вимкненому зарядному пристрої. Контроль за ходом зарядження повинен здійснюватися за допомогою спеціальних приладів (термометра, навантажувальної вилки, ареометра та ін.). Перевіряти акумуляторну батарею коротким замиканням забороняється. Зарядження акумуляторних батарей повинне проводитися при відкритих пробках. Для нагляду за акумуляторними батареями використовуються переносні лампи у вибухозахисному виконанні.

У зарядному приміщенні забороняється:

курити і користуватись відкритим вогнем (запаленим сірником, цигаркою і т.ін.);

користуватись електронагрівальними приладами;

зберігати і заряджати кислотні і лужні акумуляторні батареї в одному приміщенні;

перебувати стороннім особам;

користуватись апаратами та інструментами, які можуть дати іскру при ударі;

зберігати кислоти і луки в кількостях, що перевищують змінну потребу;

залишати спецодяг, сторонні предмети і горючі матеріали;

зберігати продукти харчування та вживати їжу.

При ремонті шин роботи з приготування та нанесення гумового клею на склеювані поверхні слід проводити в ізольованому приміщенні з негорючими огорожувальними конструкціями біля зовнішньої стіни. У приміщенні, де шини промащуються гумовим клеєм, забороняється вести роботи з вогнем або такі, що дають іскри. Інструмент для приготування та нанесення клею має бути виконаний з матеріалу, який унеможливує іскроутворення. Робочі столи повинні бути обшиті гладкими листами з кольорового металу, заземлені і обладнані місцевими відсмоктувачами. У виробничих приміщеннях допускається зберігання бензину і клею в кількостях, що не перевищують змінної потреби, і тільки в закритому посуді, відкриваючи його в міру потреби. Забороняється зберігати бензин, клей та інші легкозаймисті і горючі матеріали поблизу вулканізаційних установок. Електрообладнання установок та арматура електричних світильників повинні бути у вибухозахищеному виконанні і заземлені. Приміщення повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією.

## **5.2 Екзогенні геологічні процеси**

Розвиток господарського комплексу України відбувається в умовах нарощування техногенної дестабілізації довкілля, наслідком якої є подальше збільшення кількості кризових явищ в екологічних системах, активізація екзогенних геологічних процесів (ЕГП). Зважаючи на обмеженість неосвоєних територій в балансі під житлове та промислове будівництво зростає роль непридатних, порушених земель, ділянок з розвитком небезпечних екзогенних геологічних процесів. Мінливість інженерно-геологічних умов у межах усіх адміністративних областей пов'язана з особливостями структурно-геологічної будови, зонально-кліматичними, геоморфологічними, гідрогеологічними та сейсмічними умовами. Разом з техногенними чинниками, це визначає площі розповсюдження екзогенних геологічних процесів (ЕГП) і явищ, а також пов'язаних з ними змін довкілля. Критерієм підвищеної геодинамічної активності території слід вважати розвиток декількох типів ЕГП. Небезпека значно зростає у місцях розташування об'єктів, що створюють сприятливі

умови для активізації процесів та виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження. Це підтверджується результатами режимних спостережень, які фіксують підсилення взаємозв'язку між динамікою росту господарського потенціалу та регіональним поширенням небезпечних ЕГП.

Зсуви. Займають домінуюче положення серед ЕГП внаслідок значного поширення майже у всіх адміністративних областях, насамперед, у місцях інтенсивного господарського освоєння. Вони виникають на порівняно незначній площі, проте їх активізація має значні негативні наслідки через швидкоплинність їх розвитку та значні деформації та руйнування інженерно-господарських об'єктів. Головними природними чинниками активізації зсувів є метеорологічні, гідрологічні, гідрогеологічні, сейсмічні тощо. Вплив господарської діяльності на розвиток зсувів пов'язаний з додатковою пригрузкою, підрізкою схилів під час будівельних робіт, створенням динамічних навантажень на схили, додатковим обводненням зсувонебезпечних територій. Сучасна активізація зсувів, що розвиваються на схилах різного генезису, досить часто пов'язана з проявом супутніх процесів ерозійного та абразійного, що є чинниками підсилення основного процесу. За останніми даними на території України зафіксовано 22948 зсувів, кількість їх змінюється за рахунок ліквідації (зрізання, зчищення), злиття окремих близько розташованих зсувних форм або внаслідок виявлення, або утворення нових. Найбільш масштабний розвиток зсувів зафіксований на узбережжі Чорного моря у межах Одеської, Миколаївської областей та АР Крим, на узбережжі Азовського моря та в басейні р. Сів. Донець (Донецька область), правобережжі р. Дніпро та його правих приток, у басейнах річок Уж, Тиса, Латориця, Ріка, Теремля, Тересва (Закарпаття) та басейнах річок Дністер, Прут, Черемош, Сирет, Стрий, Вишня (Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька області).

Підтоплення. Процес підтоплення є найбільш поширеним серед сучасних ЕГП, що проявляється як у природних умовах, так і під впливом техногенних чинників. Площі підтоплення на території України сягають 89,062 тис.км<sup>2</sup> (14,7% території), в 4747 населених пунктів спостерігається підтоплення різної інтенсивності.

У природних умовах схильність до підтоплення мають території найбільш понижені у геоморфологічному відношенні. До цього типу відноситься територія Українського Полісся (Волинська, Житомирська, Рівненська області та північна частина Київської). Тут під дією природних чинників сформувалась область регіонального високого положення рівнів ґрунтових вод. Рівні ґрунтових вод залягають на глибинах від 0 до 2,0 м, частіше 0,2-0,5 м. У Поліссі зосереджено майже 70% заболочених земель України, утворення яких відбувається внаслідок постійного надлишкового зволоження. Природно-техногенне підтоплення має місце в центральних та південних регіонах України: у Дніпропетровській, Запорізькій, Харківській, Луганській, Донецькій та на півночі Одеської, Миколаївської та Херсонської областях. Баланс ґрунтових вод на таких територіях слабо порушений або порушений внаслідок збільшення їх живлення, що пов'язане зі зниженням природного дренажу території. Найбільш інтенсивно підтоплені території, що прилягають до заплавл річок, ділянки в зонах впливу водосховищ та каналів, підроблені гірничими виробками тощо.

Карст. Є особливо небезпечним екзогенним процесом, який розвивається при взаємодії води з розчинними гірськими породами, що призводить до порушення стійкості території – її здатності зберігати функціональні несучі властивості під впливом інженерних споруд. Раптова активізація може призводити до виникнення миттєвих провалів або осідання земної поверхні.

На 74,2% території України поширені породи, в яких, за певних умов, може відбуватися карстоутворення. Розвиток підземних і поверхневих карстопроявів відмічається майже повсюдно, до числа найбільш поширених поверхневих форм відносяться воронки, западини, ніши. Велика кількість карстових воронок спостерігається на ділянках поширення карсту відкритого типу, що займає 11,281 тис.км<sup>2</sup>, або 1,9 % від усієї території України, та покритого – 87,68 тис.км<sup>2</sup>, або 14,5 %.

Селеві процеси. Поширення та інтенсивність селевого процесу у гірських і передгірських областях Карпат і Криму пов'язані з особливостями тектонічного, неотектонічного, сейсмічного режимів гірських зон та залежить від геологічної будови території, геоморфологічних та гідрологічних умов,

клімату, техногенного впливу людини тощо. Селенебезпечні басейни є зосередженням розвитку багатьох ЕГП (гравітаційних, ерозійних, денудаційно-аккумулятивних).

Гравітаційні зміщення порід на схилах сприяють накопиченню твердої складової селів. Процес розвивається на тих гірських річках, у басейнах яких відбувається значне накопичення пухкого піщано-глинистого, глинисто-уламкового й уламкового матеріалу. Сприятливі умови для сходження селів сформувалися на 70 % території гірських водозборів (переважно у низькогір'ях) в межах регіонів Складчастих Карпат, Закарпатському прогині та Гірського Криму.

У Закарпатській області селевими басейнами зайнято 40 % площі, Чернівецькій – 15 %, Івано-Франківській – 33 %, Львівській – 8 %, АР Крим – 3%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вдосконалення технологічного процесу відновлення посадочних місць під підшипники генераторів, з акцентом на дослідження властивостей відновлених покриттів, є значущим кроком у розвитку промислових ремонтних технологій. Цей процес включає глибоке розуміння взаємозв'язку між різними параметрами, такими як натяг, шорсткість, і спосіб формування покриттів, наприклад, за допомогою ультразвукового пульсування.

Покращення властивостей полімерних покриттів, які використовуються у відновленні, зокрема їх міцності, адгезії, та стійкості до зносу, відіграє важливу роль у забезпеченні довговічності відновлених підшипникових вузлів. Це дозволяє не тільки подовжити термін служби вузлів, але й знижує загальні експлуатаційні витрати за рахунок зменшення частоти ремонтів та замінів.

Окрім того, розуміння того, як механічна обробка та умови складання впливають на властивості з'єднань, є критичним. Параметри, такі як режими обробки, геометрія ріжучого інструменту, та кількість збірок, мають безпосередній вплив на якість та довговічність відновлених вузлів. Застосування цих знань у практичному виробництві може призвести до покращення якості відновлення та зменшення витрат.

Загалом, ці підходи і методи не лише покращують якість відновлених деталей, але й сприяють сталому розвитку виробничих процесів, зменшуючи витрати ресурсів та часу. Це, в свою чергу, позитивно впливає на загальну економічну ефективність та екологічну безпеку виробничих процесів.



**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. Гаджієв А.А. Технологічне забезпечення довговічності підшипникових вузлів машин застосуванням полімерних матеріалів: Дис. докт. техн. наук. . 2006. 387 с.
3. Зорін В.А., Ляхов Є.Ю. Аналіз довговічності місць підшипників, відновлених полімерними матеріалами // Інтербудмех-2018. 2018.
4. Баурова Н.І., Зорін В.А. Застосування полімерних композиційних матеріалів під час виробництва та ремонту машин. : МАДИ, 2016. 264 с.
5. Гевко І.Б. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.
6. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
7. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
8. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
9. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

10. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
12. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
13. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
14. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).
15. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).
16. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
17. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Nevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.
18. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.

19. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.

20. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом’як Й. В., Хом’як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.

21. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.