

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Дослідження технологічного процесу відновлення спряжених
поверхонь вальниць»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 5
Стойка Максим Віталійович
Керівник: Ветохін В. І.
Рецензент: Шейченко В. О.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність теми. Створення і впровадження нових систем і комплексів машин, подальша інтенсифікація АПК роблять найважливішою проблемою підвищення надійності і довговічності техніки, ефективності її використання, рівня технічного обслуговування, ремонту і зберігання [1]. Ефективне використання техніки можливо тільки при чіткій організації робіт з її технічного обслуговування і ремонту.

На сучасному етапі розвитку ремонтної бази ремонтні-майстерні, ремонтно-механічні заводи, дилерські центри, підприємства технічного сервісу вирішують великі і відповідальні завдання по підтриманню машинно-тракторного парку країни в працездатному стані, періодичному відновленню ресурсу машин.

Одним з ключових технологічних питань, що підвищують довговічність і технічну готовність, є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей, що забезпечують підвищення якості відновлення і відповідно ресурсу відремонтованих машин.

Основним резервом зниження матеріальних витрат при експлуатації і ремонті машин і обладнання АПК є відновлення зношених деталей. Це стає найбільш актуальним в сучасній економічній ситуації, коли відбуваються подорожчання техніки та запасних частин до неї і зниження платоспроможності сільськогосподарських підприємств.

При ремонті сільськогосподарської техніки витрати на придбання нових запасних частин замість зношених можуть досягати протягом усього терміну служби до 70%. Граничні зноси 85% деталей не перевищують 0,3 мм, причому багато з них мають залишкові ресурси 60% і більше, і тільки 20% деталей, що надходять у ремонт, підлягають остаточному вибракуванню. Решта можна відновити, причому собівартість відновлення складе 15...70% собівартості виготовлення [2].

В економічно розвинених країнах на ринку запасних частин відновлені деталі переважають, тому що вони в 1,5...2,5 рази дешевше нових, а по ресурсу не поступаються їм і навіть перевищують [2]. Це досягається, насамперед, за рахунок участі в ньому фірм-виробників машин та спеціалізованих фірм по відновленню зношених деталей.

Підшипники кочення є одним з найпоширеніших елементів конструкцій машин і обладнання АПК. Надійність підшипникових складальних одиниць через їхню численність робить істотний вплив на надійність всієї машини. Тому підвищення довговічності підшипникових складальних одиниць, зниження собівартості ремонту, шляхом відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення, є важливою і актуальною задачею, рішення якої дозволить підвищити надійність сільськогосподарської техніки, знизити витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням і ремонтом. Надійність підшипникових складальних одиниць через їхню численність робить істотний вплив на надійність всієї машини.

Мета дослідження. Підвищення ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки анаеробними герметиками з мінеральними дисперсними наповнювачами шляхом збільшення їх міцності і довговічності, а також зниження собівартості.

Об'єкт дослідження. Технологія відновлення нерухомих підшипникових з'єднань полімерними матеріалами.

Предмет дослідження. Робочі поверхні корпусних деталей сільськогосподарської техніки.

Методика досліджень включала проведення лабораторних, трибологічних досліджень зразків деталей і полімерних матеріалів, експлуатаційні випробування.

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні технологічних параметрів відновлення нерухомих підшипникових складальних одиниць полімерними матеріалами.

Практична значимість. Досліджений технологічний процес відновлення підшипникових складальних одиниць із застосуванням нанесення полімерних матеріалів в порівнянні з типовим дозволяє підвищити міцність клейового з'єднання на 17%.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз технології відновлення нерухомих з'єднань підшипників полімерними композиційними матеріалами

Відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення з використанням полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) здійснюється двома способами: нанесенням полімерного покриття на посадочне місце з подальшим формуванням під номінальний розмір і склеюванням одного з кілець підшипника з деталлю.

В якості основи ПКМ, що застосовуються для формування покриттів, зазвичай використовують епоксидні смоли.

Епоксидні смоли (ЕД-16, ЕД-20, ЕД-22) являють собою в'язкі прозорі рідини на основі епіхлоргідрину і дифенілолпропану, які перетворюються в тверде тіло при змішуванні з різними затверджуючими компонентами [3]. Епоксидні смоли здатні затвердівати в звичайних умовах, а також при знижених (до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах. Час затвердіння епоксидних смол при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить 24 год, а при додатковому нагріванні – 4 – 6 год. Затверділі епоксидні смоли характеризуються високими адгезією до металів і інших матеріалів, механічною міцністю, тепло-, водо- та хімічною стійкістю.

Відомий спосіб відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення [4], що полягає в нанесенні на зношену поверхню деталі шару епоксидної композиції з подальшим калібруванням після попереднього часткового затвердіння покриття. В результаті отримують відновлений отвір з номінальним розміром, що не потребує механічної обробки.

Значний вплив на якість покриттів, отриманих розмірним калібруванням, має час витримки нанесеного шару до початку калібрування. При передчасному впливі калібром на шар композиції спостерігається підвищена шорсткість, спотворення форми і відмінність отриманого розміру

отвору від номінального. Дуже тривала витримка призводить до збільшення зусилля калібрування, що може призвести до руйнування покриття.

Розроблений удосконалений спосіб формування покриттів під впливом зовнішніх силових полів (ультразвукового і електромагнітного) [5]. Епоксидна композиція наноситься шпателем на зношені посадочні місця під підшипники кочення, витримується протягом 1 год на повітрі при нормальних умовах з впливом на неї силових полів, після чого виконують формування. Формування покриття проводять на свердлильному верстаті. Потім відбувається затвердіння епоксидного покриття по ступінчастому режиму: при температурі 30°C витримують 2 год, при температурі 100°C - 1 год, при температурі 150°C - 1 год. Модифікація епоксидної смоли ЕД-16 акрилопластом АСТ-Т, герметиком 6Ф і алюмінієвою пудрою в поєднанні з ультразвуковою та електромагнітною обробкою дозволило значно поліпшити її деформаційно-міцнісні властивості. Слід зазначити, що в даному способі виникає неоднозначний вплив форми і розміру частинок дисперсних наповнювачів на властивості відновленого шару.

В даний час в різних галузях машинобудування широке поширення отримали анаеробні герметики [6]. Анаеробні герметики представляють собою багатокомпонентні рідкі сполуки, здатні тривалий час зберігатися без зміни властивостей і швидко затверджуватися при відсутності взаємодії з киснем повітря. Основою анаеробних герметиків є ефіри поліалкіленгліколей. До складу анаеробних герметиків входять також інгібуючі речовини, що забезпечують тривале зберігання герметиків і швидке затвердіння у виробі, різні загусники, модифікатори, барвники та інші добавки. Анаеробні герметики мають хорошу адгезію до металів, стійкість до дії води, масел, палива, органічних розчинників, кислот, лугів та інших хімічних речовин. Інтервал робочих температур більшості анаеробних герметиків становить від - 60°C до 175°C.

Порівняно високі експлуатаційні властивості анаеробних герметиків дозволяють їх використовувати для відновлення нерухомих з'єднань

підшипників кочення [7-10]. Як показує практика використання анаеробних герметиків, їм притаманні наступні недоліки: недостатня в'язкість в рідкому стані для утримання в зазорі; порівняно низькі деформаційно-міцнісні властивості для роботи у важконавантажених складальних одиницях; низька швидкість затвердіння; висока вартість.

В ремонтній практиці розроблено ряд технологій відновлення посадочних отворів під підшипники кочення в корпусних деталях різних марок машин і обладнання композицією на основі анаеробного герметика АН-6В [11]. При відновленні за даною технологією на зношену поверхню корпусу отвору наносять матеріал і через певний час виконують формування покриття спеціальною оправкою.

Способом відновлення формуванням полімерного покриття на посадочному місці під підшипник кочення притаманні наступні недоліки: необхідність розточувального і пресового обладнання; велика тривалість формування нанесеного покриття та його затвердіння значно збільшують час складання агрегату; не запобігає фретінг-корозії сполучених поверхонь.

Недоліки наведеного вище способу відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення усуваються способом відновлення склеюванням кільця підшипника з корпусних деталлю або з валом [11].

Технологічний процес склеювання підшипника кочення з посадочним місцем під підшипник включає наступні операції:

- 1) очищення посадочної поверхні від корозії шліфувальним папером;
- 2) знежирення поверхонь, що склеюються;
- 3) приготування полімерного матеріалу;
- 4) нанесення матеріалу на склеюванні поверхні з розрівнюванням за допомогою пензля;
- 4) складання нерухомого з'єднання і центрування підшипника відносно валу або корпусної деталі за допомогою центруючого пристосування;

5) витримка клейового з'єднання до схоплювання і видалення центруючого пристосування;

6) складання відновлюваної складальної одиниці з наступним затвердінням полімеру до максимальної міцності.

Найбільше поширення при відновленні нерухомих з'єднань шляхом склеювання отримали анаеробні герметики АН-6В, АН-6К, АН-103, УГ-7, УГ-8, УГ-11. Склеювання анаеробними герметиками рекомендується проводити в приміщенні з температурою не нижче 15°C, при більш низькій температурі затвердіння герметика значно сповільнюється. Час набору максимальної міцності клейового з'єднання при температурі 20°C становить 8 – 24 год [7]. При використанні активаторів час затвердіння скорочується до 1 год.

Результати представлених досліджень показують ефективність та перспективність використання полімерних матеріалів для розробки ресурсозберігаючих технологій відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення. Але в даних роботах відсутні або наводяться недостатньо повні обґрунтування та рекомендації щодо вибору дисперсних наповнювачів.

На підставі цього необхідно провести теоретичні дослідження і сформулювати технологічні вимоги до матеріалу, форми і розмірів частинок дисперсних наповнювачів, що забезпечить підвищення адгезійних і когезійних властивостей, скорочення часу затвердіння полімерних матеріалів.

Враховуючи високі експлуатаційні властивості анаеробного герметика А-118, представляє практичний інтерес використання результатів теоретичних досліджень для обґрунтованого вибору дисперсних наповнювачів і експериментальне дослідження властивостей ПКМ на основі анаеробного герметика А-118 з метою підтвердження коректності отриманих теоретичних положень, розробки технології відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення.

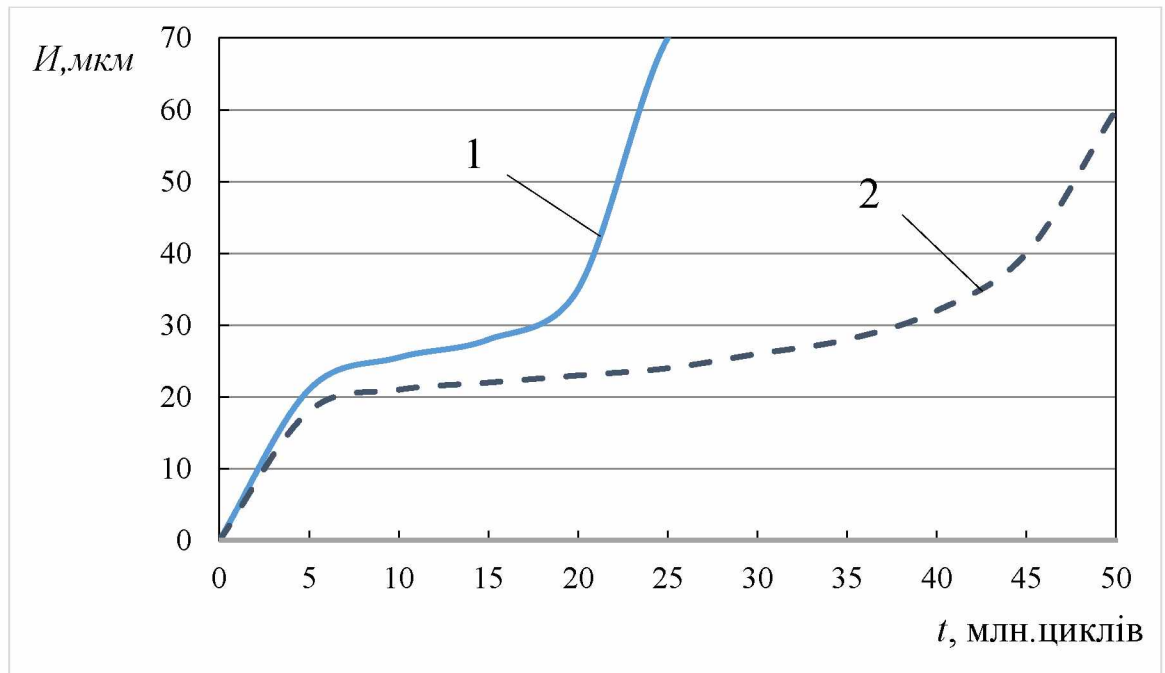
1.2 Довговічність нерухомих з'єднань підшипників кочення відновлених полімерними матеріалами

Найбільш важливим показником надійності відновленого нерухомого з'єднання підшипників кочення сільськогосподарської техніки є довговічність.

Основною причиною зносу посадочних місць підшипників кочення є фретінг-корозія. При відновленні нерухомих з'єднань підшипників кочення склеюванням усувається фретінг-корозія деталей металевих поверхонь нерухомого з'єднання. Також за сприятливого перерозподілу навантаження між тілами кочення при деформації кільця підшипника довговічність відновлених нерухомих з'єднань в кілька разів перевищує довговічність нових [12,13].

При динамічному навантаженні і посадці підшипника без полімерного покриття найменшу довговічністю мають з'єднання з зазором в сполученні 0,02 мм (рис 1.1) [12]. Довговічність нерухомого з'єднання з натягом 0,02 мм в 2 рази вище. Зносу посадочного отвору при випробуванні підшипника кочення з полімерним покриттям з термообробленого герметика при напрацюванні 270 год не виявлено.

В процесі експлуатації підшипники кочення у складальних одиницях машин піддаються дії динамічних навантажень, що постійно змінюються. Даний вид навантаження називається циклічним [14]. В умовах експлуатації в клейовому шві відновлених нерухомих з'єднань підшипників кочення виникають циклічні напруження розтягування, стиснення та зсуву. При дії цих напруг відбувається процес поступового накопичення пошкоджень в полімерному матеріалі, що приводить до утворення тріщин, їх розвитку і руйнування деталі. Властивість матеріалу сприймати багаторазову дію циклічних навантажень і запобігати втомному руйнуванню називається витривалістю. Втомне руйнування полімерного матеріалу настає при напругах значно менших, ніж межа міцності.



1 – посадка з зазором 0,02 мм; 2 – посадка з натягом 0,02 мм

Рисунок 1.1 – Залежність зносу посадочних отворів від напрацювання при різних видах нерухомих з'єднань

Модель руйнування полімерів, до яких можна віднести і анаеробні герметики, можна представити наступним чином (рис. 1.2) [15].

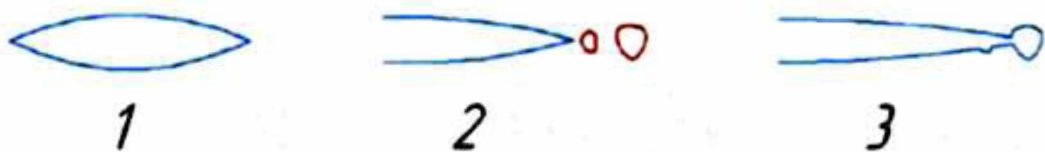


Рисунок 1.2 – Модель росту тріщини в полімерному матеріалі при циклічному навантаженні

На першому етапі під дією циклічних навантажень спочатку присутній в матеріалі дефект викликає концентрацію напружень, що приводить до локальних розривів міжмолекулярних зв'язків, і стає зародком

мікротріщини. Потім при подальшій дії циклічних навантажень на деякій відстані від фронту мікротріщини відбувається утворення і накопичення великої кількості мікропор, що веде до розпушення матеріалу та подальшого зростання первинної мікротріщини. На заключному етапі мікротріщина досягає макроскопічних (критичних) розмірів, миттєво проростаючи через весь переріз зразка і викликаючи його руйнування.

До основних чинників, які впливають на витривалість полімерних матеріалів, відносяться:

- товщина клейового шва,
- амплітуда при циклічному навантаженні,
- амплітуда деформації при циклічному навантаженні,
- середня деформація,
- частота циклічного впливу,
- температури навколишнього середовища і зразка.

Дослідження по впливу дисперсних наповнювачів на втомні властивості анаеробних герметиків у спеціальній літературі відсутні. Тому необхідно проведення досліджень впливу дисперсних наповнювачів на стійкість до дії динамічних навантажень композицій на основі анаеробних герметиків. Можливо, що на опір росту тріщин матеріалу будуть впливати розміри і концентрація частинок дисперсного наповнювача.

Таким чином, підвищення довговічності підшипникових складальних одиниць за рахунок використання ПКМ при відновленні нерухомих з'єднань підшипників кочення є важливою актуальною задачею, рішення якої дозволить підвищити надійність сільськогосподарської техніки та знизити витрати на її технічне обслуговування і ремонт. У зв'язку з цим необхідно розкрити сутність явища підвищення тріщиностійкості і привести теоретичне обґрунтування підвищення довговічності анаеробних герметиків при введенні дисперсних наповнювачів, яке дозволить сформулювати вимоги до дисперсного наповнювача.

Висновки, мета та задачі досліджень

Аналіз літературних джерел показав, що в якості основи високоефективної технології відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення необхідно використовувати полімерні матеріали на основі анаеробних герметиків.

У спеціальній літературі відсутні або наводяться недостатньо повні обґрунтування та рекомендації щодо вибору дисперсних наповнювачів. Тому для розробки технології відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення необхідно провести теоретичні дослідження, що забезпечить підвищення адгезійних і когезійних властивостей, скорочення часу затвердіння, а також довговічності клейових з'єднань, виконаних ПКМ.

З метою підтвердження отриманих теоретичних положень необхідно провести експериментальне дослідження адгезійних і когезійних властивостей ПКМ на основі анаеробного герметика А-118. Дані дослідження повинні включати випробування при рівномірному відриві.

Метою роботи є підвищення ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки анаеробними герметиками з мінеральними дисперсними наповнювачами шляхом збільшення їх міцності і довговічності, а також зниження собівартості.

На основі аналізу літературних джерел сформульовані задачі досліджень:

- привести теоретичне обґрунтування підвищення ефективності полімерних композиційних матеріалів при введенні дисперсних мінеральних наповнювачів;

- дослідити кінетику і час затвердіння, властивості плівок та адгезійні властивості анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі, міцність і довговічність нерухомих з'єднань підшипників кочення, виконаних анаеробним герметиком А-118 і композицією на його основі;

- розробити технологію відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення сільськогосподарської техніки композицією на основі анаеробного герметика А-118 і оцінити її техніко-економічну ефективність.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Загальна методика проведення досліджень

Для вирішення задач, поставлених у даній роботі, була розроблена загальна схема досліджень (рис 2.1).



Рисунок 2.1 – Загальна схема досліджень

Об'єктами досліджень були:

- плівки анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі;
- клейові з'єднання підшипників кочення, виконані анаеробним герметиком А-118 і композиції на його основі.

При проведенні експериментальних досліджень використовували обладнання та прилади, що випускаються промисловістю, а також спеціально розроблені пристрої.

Дослідження проводили у відповідності з відомими методиками, що представлені нижче [16, 25].

2.2 Методика дослідження кінетики і часу затвердіння анаеробного герметика

Для дослідження кінетики і визначення часу затвердіння анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі використовували метод, що дозволяє з високою точністю при відносно малому числі дослідів визначити час затвердіння клейових з'єднань [16].

В якості зразків для дослідження використовували клейові з'єднання внутрішніх кілець підшипників і валиків, виготовлених із сталі 45. З урахуванням того, що діаметральний зазор у з'єднанні до склеювання становив 0,2 мм, діаметр поверхні валика складає $\varnothing 35_{-0,21}^{-0,20}$ мм. Шорсткість поверхні валика становила $R_a = 3,2$ мкм.

Співвісність розташування валу і підшипника при склеюванні забезпечували центруючою оправкою. З її допомогою забезпечується рівна товщина клейового шва та усунення короткого замикання валу і підшипника. Для виключення приклеювання зразка до центруючої оправки опорну поверхню під підшипник покривали тонким шаром масла.

Композицію готували безпосередньо перед склеюванням зразків. Для цього проводили зважування компонентів на вагах з точністю 0,001 г.

Перед нанесенням анаеробного герметика або композиції склеювані поверхні деталей дворазово знежирюють ацетоном з сушінням протягом 5 хв. Герметик наносили на внутрішнє кільце підшипника і середню ступінь валика крапельницею флакона з подальшим розрівнюванням пензлем.

Після нанесення герметика або композиції проводили збирання клейового з'єднання – спочатку в центруючій пристрій встановлювали підшипник, потім валик, після чого їх провертали один до одного на 1 – 1,5 оберта для усунення перекоосу і рівномірного розподілу герметика по всій поверхні посадочних місць.

Електричну ємність клейового з'єднання визначали мультиметром (рис. 2.2) в режимі вимірювання електричної ємності. Ціна поділки – 0,1 нФ, клас точності – 2. Клейові з'єднання, виконані герметиком, затверджували при температурі 20°C протягом 24 год, причому періодичність виміру в перші три години становила 15 хв, у наступні сім годин - 1 год., і в наступні чотирнадцять годин – 2 год. Клейові з'єднання, виконані композицією, затверджували при температурі 20 °С протягом 24 год, причому періодичність виміру в перші 0,5 год становила 2 хв, в наступні 0,5 год - 5 хв, у наступні двадцять три години – 1 год.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд мультиметру для вимірювання електричної ємності

Діелектричну проникність визначали за формулою [16]:

$$\varepsilon = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)C}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot B}, \quad (2.1)$$

де ε - діелектрична проникність клейового шва;

C - електрична ємність клейового шва, Ф;

r_1 - радіус валу, мм;

r_2 - радіус внутрішнього кільця підшипника, мм;

ε_0 - діелектрична проникність вакууму;

B - ширина кільця підшипника, мм.

Завершення полімеризації оцінювали по стабілізації значень діелектричної проникності клейового шва.

2.3 Методика дослідження деформаційно-міцнісних властивостей

Деформаційно-міцнісні властивості при розриві плівок анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі оцінювали міцністю при одноосьовому розтягуванні плівок, відносним подовженням і питомою роботою руйнування.

Зразки представляли собою плівки прямокутної форми 40x15x0,5 мм з анаеробного герметика А-118 або композиції. Розрахункова довжина зразка становила 30 мм. В якості підкладки при виготовленні плівок використовували пластину 80x40x3 мм з фторопласту. Прямокутну форму і геометричні розміри плівки забезпечували за допомогою рамки-трафарету 80x40x0,5 мм з поліетилену з прямокутним отвором 40x15 мм. Рамку накладали на фторопластову пластину і заповнювали її анаеробним герметиком і композицією. Після заповнення рамки герметиком для забезпечення відсутності доступу кисню повітря до анаеробного герметиком накладали на трафарет фторопластову пластину з фіксацією пластин і

трафарету струбиною, причому для ініціації затвердіння анаеробного герметика попередньо покривали пластини (підкладка і кришка) алюмінієвою фольгою. Затвердіння зразків проводили протягом 24 год при температурі 20°C. Після цього акуратно витягували зразок плівки з трафарету. Граничні відхилення розмірів зразків не перевищували по довжині і ширині $\pm 0,5$ мм.

Міцність при розриві плівок σ_p визначали за формулою [16]:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0}, \quad (2.2)$$

де F_p - руйнівне навантаження при розтягуванні, Н;

A_0 - початковий поперечний переріз зразка, мм.

Відносне подовження при розриві плівки ε_p визначали по формулі

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l_0}{l_0} 100, \quad (2.3)$$

де Δl_0 - початкова розрахункова довжина зразка, мм;

l_0 - зміна розрахункової довжини зразка в момент розриву, мм.

Випробування зразків здійснювали на розривній машині УМД-10 (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд машини для дослідження на розрив

2.4 Методика вимірювання кута змочування анаеробного герметика

Об'єктами дослідження були краплі анаеробного герметика, нанесені на металеву підкладку, по відношенню до якої визначається кут змочування.

В якості підкладки використовували пластину зі сталі 45 розміром 30х60х2мм з шорсткістю поверхні $R_a=6,3$ мкм. Перед нанесенням краплі герметика або композиції поверхню підкладки дворазово обезжирювали ацетоном з наступним просушуванням протягом 5 хв. Герметик або композицію наносили на поверхню кінчиком скляної палички.

Вимірювання проводили при температурі 20°C протягом 10 хв, причому періодичність вимірювань в перші чотири хвилини становила 0,25 хв, в наступні шість хвилин – 0,5 хв.

Для фіксування характеру взаємодії герметика і композиції з поверхнею підкладки використовували цифровий фотоапарат Nikon Coolpix L820 в режимі макрозйомки. Для установки фотоапарата використовували штатив. Після отримання зображення подальшу обробку виконували з використанням програмного забезпечення Adobe Photoshop v.7 і Ascon Kompas v.15, тобто проводили дотичну лінію до краплі рідини від точки взаємодії її з поверхнею підкладки і визначали кут змочування (рис 2.4).

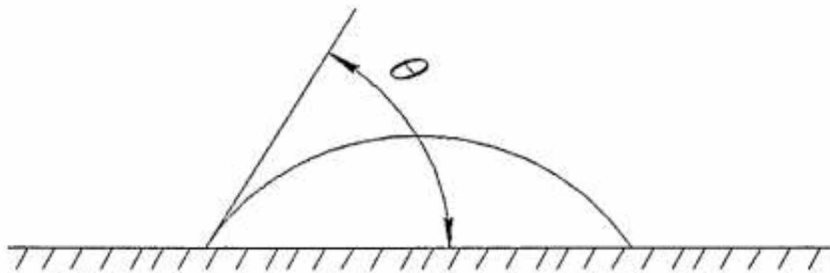


Рисунок 2.4 – Схема вимірювання кута змочування

2.5. Методика дослідження міцності анаеробного герметика

Зразками при дослідженні на міцність були клейові з'єднання внутрішніх кілець підшипників 207 з валиками, відновлені анаеробним герметиком А-118 і композиціями на його основі. Клейові з'єднання валиків і підшипників виготовляли аналогічно методиці, наведеній в розділі 2.2.

Роботу деформації A при руйнуванні клейового з'єднання визначили як площа S , що обмежена кривою «навантаження - деформація». Питома робота деформації при руйнуванні клейових з'єднань була розрахована як відношення значення роботи деформації A до об'єму клейового шва.

Враховуючи нелінійний характер залежності деформаційно-міцнісних властивостей клейових з'єднань композиції на основі анаеробного герметика від ступеня наповнення мікротальку і бронзової пудри, для визначення оптимального складу композиції був проведений багатофакторний експеримент, який дозволяє отримати регресійну модель у вигляді полінома другого ступеня [25]:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2. \quad (2.1)$$

Матриця планування представлена в табл. 2.1.

В якості незалежних факторів були прийняті концентрації мікротальку і бронзової пудри, а в якості функції відгуку - питому роботу руйнування клейових з'єднань, так як вона є показником роботи матеріалу при динамічному навантаженні. На основі попередніх експериментів визначили рівні та інтервали варіювання факторів, які представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Матриця планування багатофакторного експерименту

№ досліду	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Y
1	+	-	-	+	+	+	Y_1
2	+	+	-	-	+	+	Y_2
3	+	-	+	-	+	+	Y_3
4	+	+	+	+	+	+	Y_4
5	+	-	0	0	+	0	Y_5
6	+	+	0	0	+	0	Y_6
7	+	0	-	0	0	+	Y_7
8	+	0	+	0	0	+	Y_8

Таблиця 2.2 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Найменування фактору	Кодоване позначення фактора	Рівні варіювання факторів			Інтервали варіювання факторів
		нижній	нульовий	верхній	
Концентрація: мікротальку	X_1	0,1	1,05	2	0,95
бронзової пудри	X_2	2	10	18	8

2.6 Оцінка точності вимірів

Можлива помилка в дослідах і показник їх точності визначається за наступною методикою:

1. Результати кожного виміру записуються в таблицю;
2. Знаходиться середнє арифметичне значення вимірюваних величин:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.2)$$

де X_i - значення величини, що вимірюється;

n - число вимірів;

3. Знаходяться похибки окремих вимірів

$$\delta_{xi} = X_{cp} - X_i; \quad (2.3)$$

4. Обраховуються квадрати похибок окремих вимірів $(\delta_{xi})^2$;

5. Визначається середня квадратична похибка результату серії вимірів:

$$\delta_{S_{Xcp}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{xi})^2}{n \cdot (n-1)}; \quad (2.4)$$

6. Приймається значення надійності і визначається коефіцієнт Стьюдента

t_α заданої надійності α і числа проведених вимірів [25];

7. Знаходиться похибка результатів вимірів:

$$\delta_{xi} = t_\alpha(n) \cdot \delta_{S_{Xcp}}; \quad (2.5)$$

8. Кінцевий результат записується у вигляді:

$$X_i = X_{cp} \pm \delta_{xi}; \quad (2.6)$$

9. Оцінюється відносна похибка результату серії вимірів:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{xi}}{X_{cp}} \cdot 100\%. \quad (2.7)$$

Отже, згідно даної методики будемо визначати похибку і точність отриманих даних під час проведення дослідів.

Висновки

1. Методологічно роботу проводили наступним чином. Для підвищення довговічності підшипникових з'єднань відновлених полімерними матеріалами виконаний аналіз з встановленням причин передчасного виходу деталей в процесі експлуатації. Досліджено ряд методів, використовуваних для відновлення зазначених деталей. Однак не існує єдиної думки про найбільш ефективні технології. Тому для вирішення цього завдання розроблена методика проведення порівняльних досліджень з оцінкою властивостей відновлених підшипникових з'єднань після їх відновлення. Опрацювавши і проаналізувавши літературу, було розроблено послідовність проведення лабораторних і експлуатаційних випробувань, встановлено систему вимог до них.

2. При виборі технологічного процесу відновлення підшипникових з'єднань полімерними матеріалами запропоновано обладнання і технологічні параметри обробки.

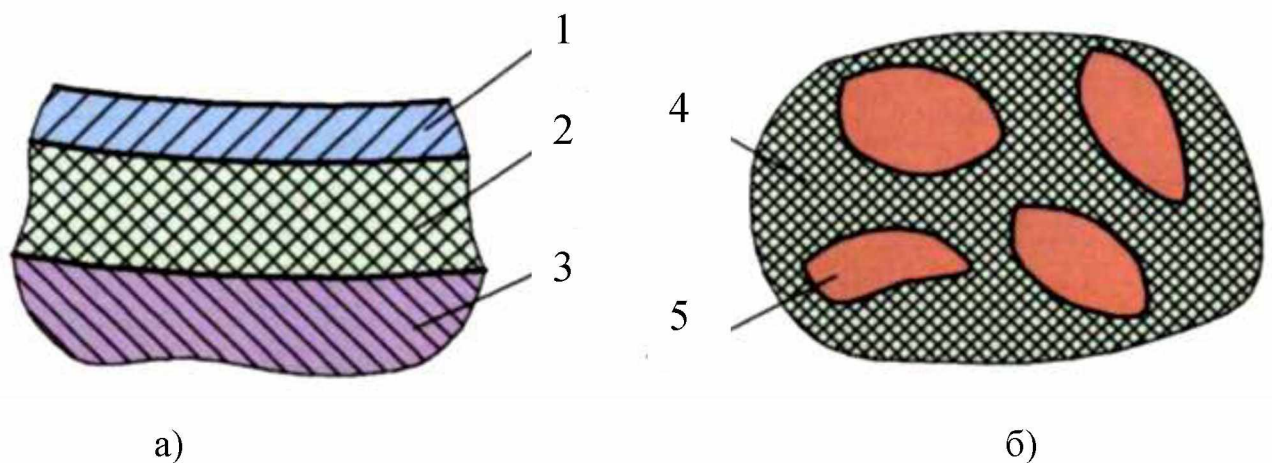
3. Для вибору режимів відновлення підшипникових з'єднань полімерними матеріалами були проведені комплексні дослідження із застосуванням багатofакторного методу планування експерименту з вибору оптимального складу композитного матеріалу.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Міцність клейових з'єднань, відновлених полімерними матеріалами

Міцність клейового з'єднання, відновленого полімерним композиційним матеріалом (ПКМ) на основі анаеробного герметика (полімер) і твердого дисперсного наповнювача, визначається адгезійною і когезійною складовими.

На рисунку 3.1 приведена схема клейового з'єднання «кільце підшипника - корпусна деталь», і включає елементи, що визначають його міцність. Кільце підшипника і корпусні деталь є субстратами, а ПКМ - клеєм (адгезивом).



1 - кільце підшипника; 2 - ПКМ; 3 - корпусна деталь; 4 - анаеробний герметик; 5 - дисперсний наповнювач

Рисунок 3.1 - Схеми клейового з'єднання «кільце підшипника - корпусна деталь» (а) і ПКМ (б)

Адгезійна складова міцності клейового з'єднання визначається міцністю зв'язку на межі поділу фаз «субстрат - ПКМ» (рис. 3.1, а). Когезійна складова міцності клейового з'єднання визначається міцністю полімеру, наповнювача, а також міцністю зв'язку на межі поділу фаз «полімер - наповнювач» (рис. 3.1, б).

Руйнування клейового з'єднання має, як правило, змішаний характер - адгезійний і когезійний, тобто тріщина поширюється як по межах розділу фаз, так і через полімер.

Адгезійне руйнування пов'язане з наявністю дефектів на границях розділу фаз (непроклеєння, забруднення та ін.) і недостатньою енергією адгезійної взаємодії, внаслідок різного механізму його утворення (механічний, фізичний, хімічний).

Когезійне руйнування обумовлено дефектами в затверділому ПКМ (повітряні пори, пори, що утворюються при відшаруванні частки наповнювача від полімерної матриці, нерівномірність розподілу наповнювача за об'ємом полімеру і ін.).

До основних факторів, що впливають на міцність клейового з'єднання, відносяться хімічну будову і надмолекулярну структуру полімеру, а також форму, розмір і об'ємний вміст частинок наповнювача.

3.1.1 Адгезійна складова міцності клейових з'єднань

Відповідно до молекулярної теорії адгезійні явища, що протікають на поверхні розділу «субстрат - ПКМ», є результатом міжмолекулярної взаємодії [18]. При цьому між субстратом і ПКМ виникають як фізичні (водневі, індукційні і ін.), так і хімічні зв'язки. Причому зв'язок вважається сильним, якщо його енергія перевищує 500 кДж/моль, слабким - якщо його енергія менше 100 кДж/моль. Фізичні зв'язки утворюються при енергії взаємодії молекул менше 15 кДж/моль [19].

Адгезія анаеробних герметиків до металевих субстратів, до яких відносяться кільця підшипника, вал і корпусна деталь, можлива завдяки наявності в їх складі активних функціональних груп [20].

Поверхня більшості металевих субстратів (залізо, алюміній, мідь і сплави на їх основі) покрита гідроксильними групами [20], з якими функціональні групи анаеробних герметиків утворюють іон-дипольні і водневі зв'язки.

При взаємодії (змочуванні) рідкого ПКМ з поверхнею металевого субстрату гідроксильні групи адсорбують компоненти анаеробного герметика, при цьому утворюються різні види зв'язків.

Адгезійну міцність при формуванні зв'язків між реакційно-здатними групами полімеру і субстрату можна характеризувати питомою роботою A , що витрачається на руйнування адгезійного з'єднання [18].

$$A = S_{\phi} \sum n_i U_i, \quad (3.1)$$

де n_i – число адгезійних зв'язків i -го роду на одиницю фактичної поверхні контакту S_{ϕ} ;

U_i – енергія адгезійних зв'язків, кДж/моль.

З формули (3.1) випливає, що адгезійна міцність на межі розділу «субстрат - ПКМ» залежить від площі і, відповідно, від шорсткості поверхні. Збільшуючи площу поверхні за рахунок шорсткості можна досягти зростання адгезії, але мікронерівності значної висоти стають концентраторами напружень і знижують міцність клейового з'єднання. Отже, існує оптимальне значення шорсткості поверхні, при якій адгезійна міцність буде найбільшою.

Для забезпечення високої адгезійної міцності клейового з'єднання середня шорсткість поверхні субстратів після механічної обробки повинна становити 5 – 20 мкм [21].

З точки зору термодинаміки адгезії поверхнева активність елементів клейового з'єднання визначається їх поверхневими енергіями. Тоді в

найбільш поширеному випадку обмеженого змочування ($\theta > 0$) енергія адгезійної взаємодії визначається з виразу [18]:

$$W_A = \gamma_n \cos \theta + \gamma_m - \gamma_{mn} , \quad (3.2)$$

де γ_n – поверхнева енергія на межі «полімер - повітря», кДж/м²;

γ_m – поверхнева енергія на межі «субстрат - повітря», кДж/м²;

γ_{mn} – поверхнева енергія на межі «субстрат - полімер», кДж/м²;

θ – крайовий кут, або кут змочування (рис. 3.2).

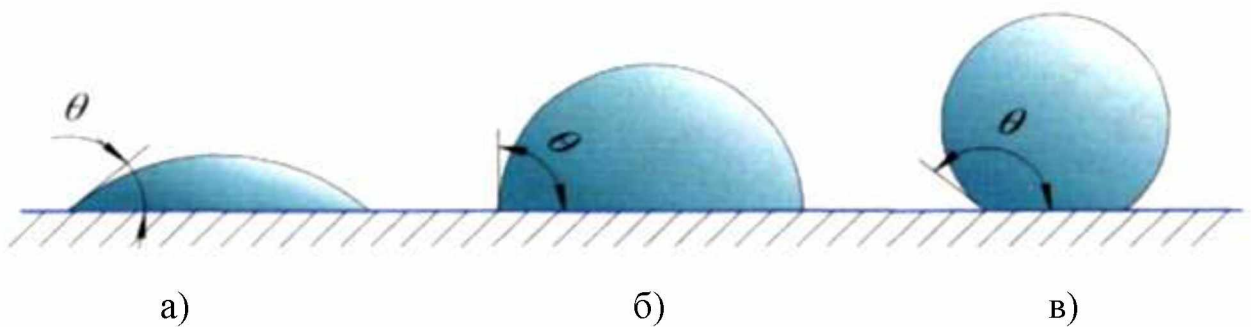


Рисунок 3.2 – Різні випадки обмеженого змочування: а) $\theta < 90^\circ$; б) $\theta = 90^\circ$; в) $\theta > 90^\circ$

Змочування з подальшим розтіканням полімеру по поверхні субстрату здійснюється за рахунок зменшення вільної поверхневої енергії:

$$\Delta\gamma = \gamma_m - \gamma_n \cos \theta - \gamma_{mn} . \quad (3.3)$$

При $\Delta\gamma > 0$ з виразу (3.3) отримаємо умову змочування поверхні субстрату, що необхідна для встановлення міжмолекулярної взаємодії полімеру з поверхнею субстрату:

$$\gamma_m \geq \gamma_n \cos \theta + \gamma_{mn} . \quad (3.4)$$

З виразу (3.2) випливає, що висока енергія адгезійної взаємодії «ПКМ - субстрат» забезпечується високими значеннями поверхневих енергій полімеру γ_n і субстрату γ_m при дотриманні умови (3.4). Це досягається абразивною обробкою і ретельним знежиренням поверхонь, що склеюються,

а також вибором полімеру з можливо меншим значенням поверхневої енергії γ_n .

Для оцінки характеру міжмолекулярної взаємодії поверхні субстрату з ПКМ можна використовувати кут змочування θ . За умови рівноваги краплі полімеру на поверхні субстрату ($\Delta\gamma = 0$) крайовий кут змочування визначається рівнянням [18]:

$$\cos\theta = \frac{\gamma_m - \gamma_{mn}}{\gamma_n} . \quad (3.5)$$

З формули (3.5) випливає, що чим менше значення кута змочування, тим більша поверхнева енергія субстрату перевершує поверхневу енергію полімеру і, відповідно, краще змочування поверхні субстрату полімером.

В реальних умовах на значення кута змочування впливає наявність на поверхні субстратів адсорбованих шарів вологи, газів і різних забруднень (переважно, жирних речовин), які є проміжними речовинами між ПКМ і субстратом. Як правило, вони характеризуються низькими значеннями поверхневої енергії і слабкою адгезією як до субстрату, так і до ПКМ.

Відомо, що дисперсні наповнювачі дуже гігроскопічні. При зберіганні на їх поверхні утворюється шар вологи, що досягає великої товщини і володіє дуже малою міцністю. Також волога суттєво впливає на величину поверхневої енергії твердого тіла. Так, поверхнева енергія складає близько 200 кДж/м², але через адсорбції вологи з повітря ця величина знижується до 30 кДж/м² [22]. У зв'язку з цим серед мінеральних наповнювачів найкраще використовувати гідрофобний тальк.

В процесі виготовлення дисперсних наповнювачів їх поверхня в процесі подрібнення може покриватися різними речовинами (переважно з жирною основою), технологічно необхідними і побічними. Ці речовини будуть знижувати поверхневу енергію частинок наповнювача і енергію адгезійної взаємодії на межі розділу фаз «полімер - наповнювач».

У разі якщо використовується гігроскопічний наповнювач після тривалого зберігання, необхідно передбачити операцію видалення з його поверхні вологи та інших речовин. Для видалення вологи необхідно просушити наповнювач при температурі 200 – 300°C безпосередньо перед приготуванням матеріалу.

3.1.2 Когезійна складова міцності клейових з'єднань

Модель будови полімерного тіла [19] анаеробного герметика можна представити у вигляді системи сформованих і взаємодіючих між собою сферолітних зерен (бездефектних), широких і вузьких областей з пухкою структурою, що містять ланки і допоміжні компоненти.

Концентрація домішок тим більша, чим більше ступінь завершеності процесів структуроутворення. Це впливає з того, що кількість домішок, залишаючись постійним в об'ємі полімеру, збільшується в порядку спадання при завершенні структуроутворення.

Міцність полімерного композиційного матеріалу на основі полімеру можна визначити за рівнянням [22]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma_F}{\pi c}}, \quad (3.6)$$

де E – модуль пружності полімеру, МПа;

γ_F – поверхнева енергія руйнування, Дж/м²;

c – розмір дефекту, мкм.

З формули (3.6) випливає, що збільшення когезійної міцності можливо за рахунок збільшення модуля пружності і поверхневої енергії руйнування і зниження розмірів дефектів ПКМ.

Введення частинок жорсткого наповнювача призводить до підвищення модуля пружності ПКМ, який можна визначити за формулою [21]:

$$E_k = E_n \left(\frac{1 + AB\varphi_n}{1 - B\varphi_n} \right); \quad (3.7)$$

$$A = k_e - 1; \quad B = \frac{\frac{E_n}{E_n} - 1}{\frac{E_n}{E_n} + A_n}; \quad \psi = 1 + \left(\frac{1 - \varphi_{n_{\max}}}{\varphi_{n_{\max}}^2} \right) \varphi_n,$$

де E_k , E_n , E_n – модулі пружності наповненого композиту, полімеру і наповнювача, відповідно;

k_e – коефіцієнт Ейнштейна.

φ_n , $\varphi_{n_{\max}}$ – об'ємна і максимальна об'ємна частка наповнювача.

Однак існують обмеження щодо підвищення когезійної міцності ПКМ за рахунок збільшення модуля пружності. Надмірна жорсткість ПКМ може негативно вплинути на деформацію зовнішнього кільця підшипника при радіальному навантаженні, знижуючи значення коефіцієнту розподілу навантаження і площі контакту навантажених тіл з доріжкою кочення.

Дефектами в ПКМ є невпорядковані області та повітряні включення в полімері, пори, що утворюються при порушенні адгезійного контакту на межі розділу «наповнювач - полімер», а також агломерати часток наповнювача і області з підвищеним вмістом наповнювача.

Значення розміру дефекту визначається розмірами невпорядкованих областей анаеробного герметика і пор, що утворюються при відшаруванні матриці від частинок наповнювача при деформації. Природно, що розмір цих пор тим більше, чим більше розмір дисперсних частинок наповнювача. Звідси впливає важливий висновок про доцільність застосування для наповнення високодисперсних наповнювачів, що не містить великих фракцій і агломератів частинок.

Перетворюючи формулу (3.7) і враховуючи концентрацію напружень на дефекті, отримаємо наближене вираження для визначення критичного розміру дефекту в ПКМ:

$$c = \frac{2E\gamma_F}{\pi(q\sigma)^2}, \quad (3.8)$$

де q - коефіцієнт концентрації напружень на дефекті.

Згідно з орієнтовними характеристиками полімерного матеріалу $E = 5000$ МПа, $\gamma_F = 100$ Дж/м², а також рівнем руйнівних напружень при σ_p розтягуванні $= 30$ МПа і концентрацією напруг на дефекті $q = 4$ [22], знайдемо значення критичного розміру дефекту табл 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок розміру дефекту для наповнення полімерного матеріалу

Значення концентрації напруг на дефекті	Рівень руйнівних напружень при розтягуванні, МПа			
	10	20	30	40
2	31	30	29	28
3	29	27	25	23
4	22	20	18	16
5	16	14	12	12

З урахуванням анізотропності властивостей матеріалу критичний розмір дефекту лежить в межах 12 – 31 мкм (оптимальним є 15 – 25 мкм).

3.2 Довговічність клейових з'єднань, відновлених полімерними матеріалами

Довговічність нерухомих з'єднань, відновлених полімерними матеріалами, визначається фізико-механічними властивостями полімеру: міцністю і витривалістю.

При дії динамічного навантаження на клейовий шов відбувається поступове накопичення мікропошкодження в ньому і зниження його міцності. При зниженні міцності до рівня максимальних напруг циклу відбувається руйнування матеріалу [23].

Відомо, що введення частинок наповнювача в полімери перешкоджає росту тріщин, що призводить до зростання поверхневої енергії руйнування і значного підвищення опору до поширення тріщин [24]. Це в свою чергу, призводить до підвищення довговічності ПКМ при динамічному навантаженні.

Підвищення тріщиностійкості полімеру при введенні дисперсного наповнювача пояснюється механізмом гальмування тріщин [22]. Суть цього явища полягає в наступному (рис. 3.3).

При розгляді моделі тріщини в її вершині при розтягуванні матеріалу буде спостерігатися максимум напруг нормального відриву. Також на деякій відстані від вершини тріщини буде пік напруг, що розтягують в напрямку, перпендикулярному лінії тріщини, але зі значенням меншим напруг нормального відриву (приблизне співвідношення напруг 1/5). Цих напруг може бути досить для поперечного розриву на межі «полімер - наповнювач», що призведе до затуплення і зупинки тріщини. Подальше зростання тріщини відбудеться тільки при підвищенні напруги, причому це буде відбуватися вже за межею поділу «полімер - наповнювач». Отже, для руйнування ПКМ потрібно виконати додаткову роботу, що пов'язано з ростом поверхневої енергії руйнування.

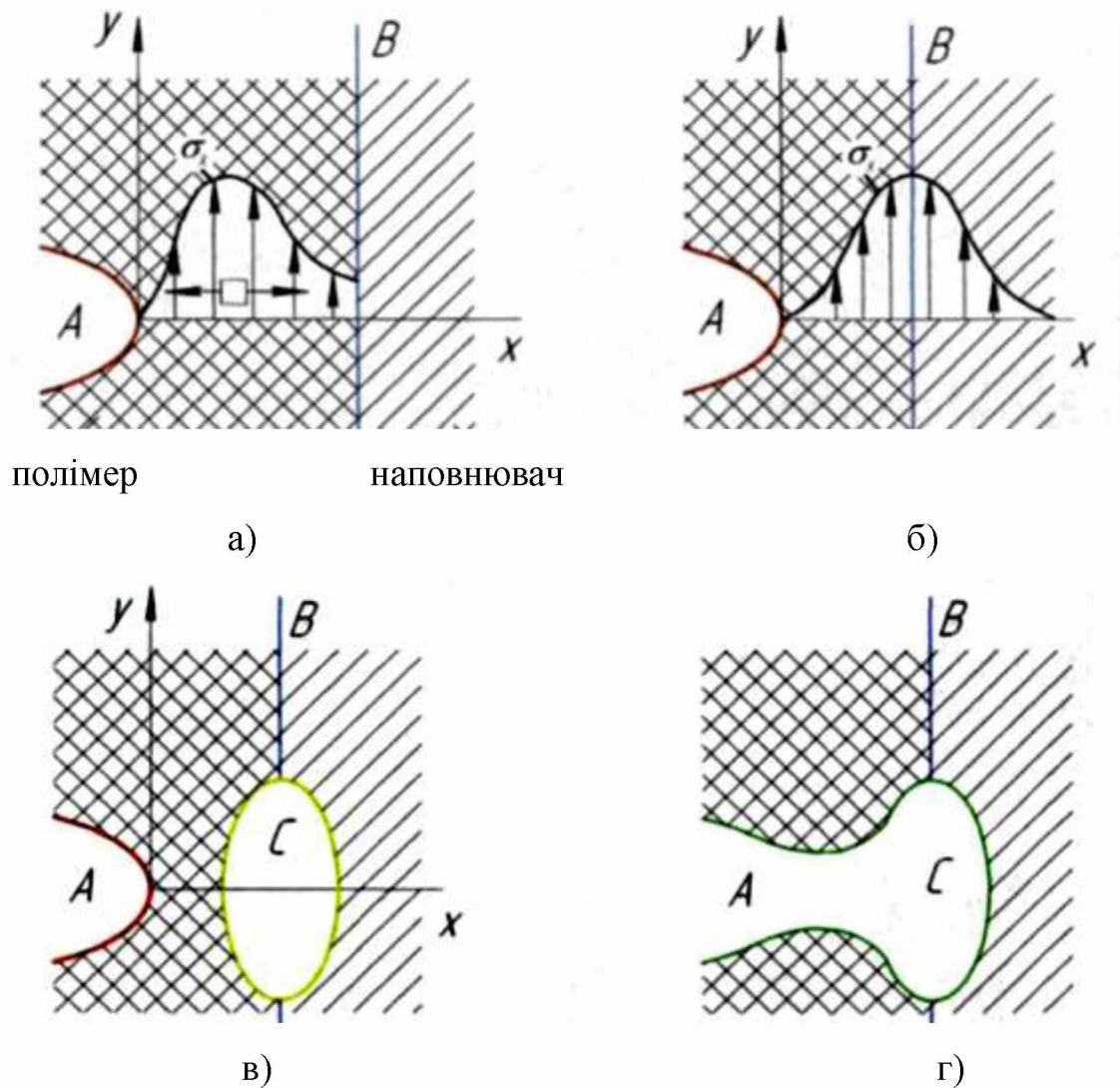


Рисунок 3.3 - Схема зупинки зростання тріщини на межі розділу «наповнювач - полімер»

Площа контакту високодисперсних наповнювачів з полімером дуже велика, а обтікання тріщиною частинок наповнювача збільшує її шлях. Тому підвищення поверхневої енергії руйнування сприятиме зменшенню розміру часток наповнювача. Так, для композицій на основі полівінілхлориду зменшення середнього розміру частинок крейди з 2 до 0,5 мкм дозволяє при однаковому ступені наповнення отримати ПКМ з більшою ударною міцністю [25].

З урахуванням того, що високодисперсні наповнювачі мають дуже велику площу адгезійного контакту з полімером, надмірне підвищення інтенсивності міжфазної взаємодії на межі «полімер - наповнювач» ускладнить релаксацію напруг, що призведе до локальних перенавантажень

ПКМ і зниження його міцності. Тому, з метою забезпечення оптимальної молекулярної рухливості на межі розділу фаз «полімер - наповнювач», потрібно утворення міцних зв'язків в поєднанні з досить великим числом слабких зв'язків (рис. 3.3, а), або густої сітки зв'язків із середньою енергією взаємодії (рис. 3.3, б). Це створює умови для швидкого перебігу релаксаційних процесів при динамічному навантаженні.

Дану схему адгезійної взаємодії можна реалізувати при використанні наповнювачів, здатних утворювати велику кількість водневих зв'язків з функціональними групами анаеробних герметиків (мінеральні та металеві).

3.3 Оптимізація складу композиції на основі анаеробного герметика

Для визначення оптимального складу композиції, що складається з анаеробного герметика А-118, мікротальку і бронзової пудри, був проведений багатofакторний експеримент. Як зразки використовувалися клейові з'єднання внутрішніх кілець підшипників з валиками зі сталі 45. Факторами були концентрації мікротальку і бронзової пудри. За функцію відгуку взяли питому роботу руйнування, так як вона є показником роботи матеріалу при динамічному навантаженні.

Статистичну обробку результатів багатofакторного експерименту за здійснювали відповідно до методики [26].

Для кожного рядка матриці за результатами дослідів визначали середньо арифметичне значення вихідного параметра оптимізації і їх дисперсії, що представлені в табл. 3.2.

Таблиця 4.1 - План і результати багатофакторного експерименту по оптимізації складу полімерної композиції на основі герметика А-118

№ п/п	Умова факторів						Значення відгуку			Середнє значення відгуку МДж/м ³	Дисперсія середнього значення відгуку	Роз-рахункове значення відгуку МДж/м ³
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	Y ₁	Y ₁	Y ₁			
1	+	-	-	+	+	+	32,57	34,21	36,18	34,32	2,18	33,10
2	+	+	-	-	+	+	33,48	37,81	39,20	36,83	5,93	37,34
3	+	-	+	-	+	+	24,13	25,88	28,41	26,14	3,09	26,06
4	+	+	+	+	+	+	30,24	28,62	33,06	30,64	3,37	30,30
5	+	-	0	0	+	0	42,81	40,39	38,51	40,57	3,10	41,10
6	+	+	0	0	+	0	44,34	46,27	48,14	46,25	2,41	45,34
7	+	0	-	0	0	+	40,12	37,89	41,90	39,97	2,69	40,46
8	+	0	+	0	0	+	35,17	31,26	36,92	34,45	5,60	33,42

З урахуванням рівної кількості дослідів в кожному рядку матриці планування перевірку однорідності дисперсії виконували за критерієм

Кохрена. При цьому розрахункове значення критерію склало 0,209, а табличне - 0,5157, тому гіпотеза про однорідність дисперсії приймається.

Коефіцієнти регресії склали $b_0 = 48,64$, $b_1 = 2,115$, $b_2 = -3,315$, $b_{12} = -0,498$, $b_{11} = -5,228$, $b_{22} = -11,428$.

Запишемо рівняння регресії згідно формули (2.1):

$$y = 48,64 + 2,12 x_1 - 3,32 x_2 - 5,23 x_1^2 - 11,43 x_2^2.$$

Розкодуємо рівняння регресії в натуральних одиницях з урахуванням того, що переведення натуральних значень факторів в кодовані здійснювали за формулами:

$$x_1 = \frac{x_1 - 1,05}{0,95}; \quad x_2 = \frac{x_2 - 10}{8}. \quad (3.9)$$

Тоді рівняння регресії в натуральних одиницях матиме вигляд:

$$y = 26,12 + 14,41 x_1 + 3,16 x_2 - 5,8 x_1^2 - 0,18 x_2^2.$$

Розрахуємо по даному рівнянню регресії значення відгуку в точках плану

$$\hat{y}_1 = 33,1; \hat{y}_2 = 37,34; \hat{y}_3 = 26,06; \hat{y}_4 = 30,30;$$

$$\hat{y}_5 = 41,1; \hat{y}_6 = 45,34; \hat{y}_7 = 40,46; \hat{y}_8 = 33,42.$$

Таким чином, максимальну питому роботу руйнування 48,9 МДж/м³ має композиція, що містить 100 масової частини А-118, 9,6 масової частини мікротальк і 1,2 масової частини бронзової пудри (рис. 3.4).

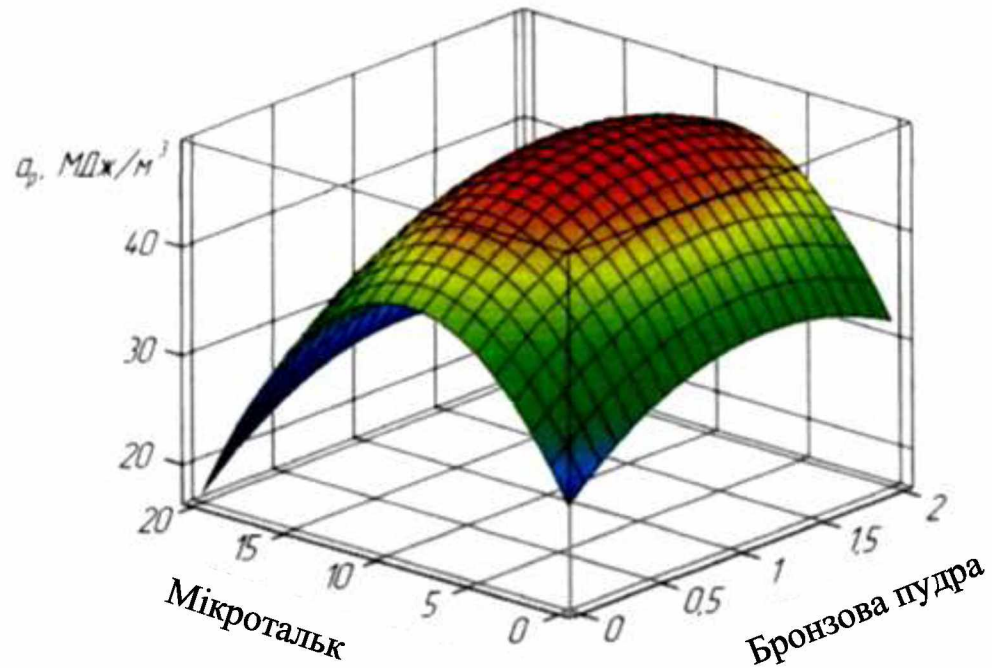


Рисунок 3.4 - Залежність питомої роботи руйнування композиції на основі анаеробного герметика від концентрації мікротальку і бронзової пудри

3.4 Дослідження кінетики і часу затвердіння анаеробного герметика

Дане дослідження проводилося для визначення часу затвердіння анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі по зміні діелектричної проникності. Результати дослідження представлені в таблиці 3.3.

Зміна діелектричної проникності ϵ з плином часу t (рис. 4.2) пояснюється структурними змінами, що відбуваються при затвердінні полімеру. При переході з рідкого стану в твердий в'язкість полімеру збільшується, і, відповідно, зменшується діелектрична проникність. При затвердінні полімеру слід розрізнити дві стадії процесу полімеризації: стадію

монолітизації і стадію кінцевих перетворень, що характеризується різким зниженням швидкості полімеризації [27].

Таблиця 3.3 – Результати дослідження часу затвердіння анаеробного герметика

Час затвердіння, год	Значення діелектричної проникності	
	Анаеробний герметик	Композиція на основі анаеробного герметика
0,5	4,5	1,8
1	4,1	1,4
2	3,3	1,1
3	2,5	1,1
4	2,3	1,1
5	2,2	1,1
6	2,1	1,1
7	2	1,1
8	2	1,1
9	2	1,1
10	2	1,1

Нелінійний характер кривої діелектричної проникності пояснюється тим, що на протязі стадії монолітизації швидкість затвердіння анаеробного герметика змінюється, причому на початку стадії швидкості затвердіння і зниження діелектричної проникності мають максимальні значення. Так, за час 3 год діелектрична проникність анаеробного герметика А-118 знижується до 2,5 (рис. 3.5, крива 1). На цій стадії утворюється тримірно-зшитий полімер і формуються його фізико-механічні властивості.

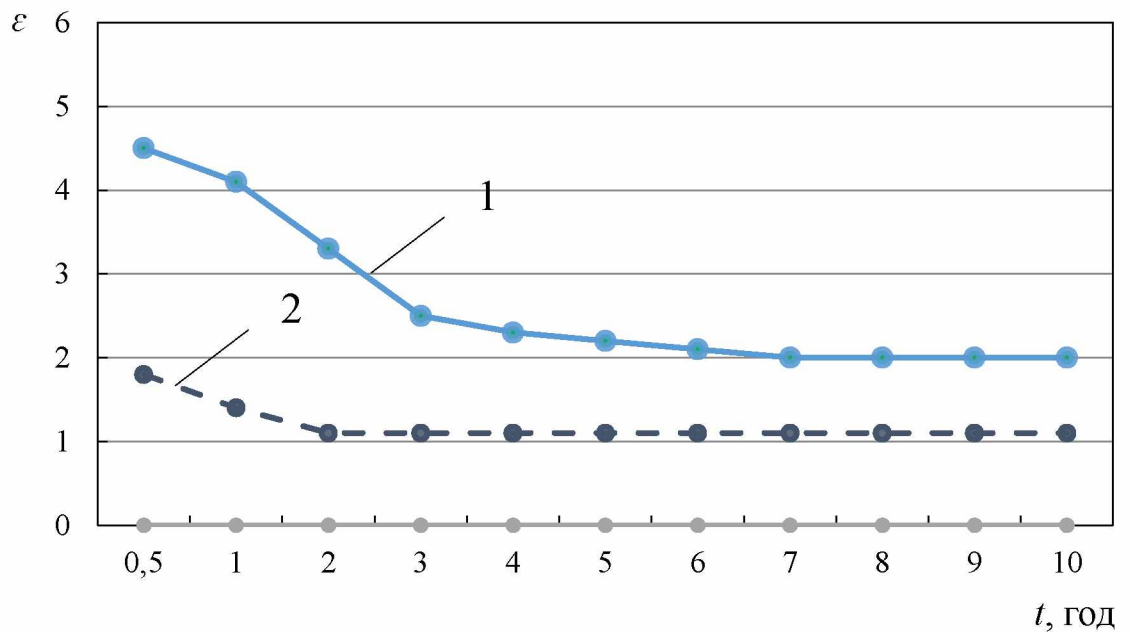


Рисунок 3.5 - Залежність діелектричної проникності анаеробного герметика А-118 (1) і композиції на його основі (2) від часу затвердіння

По завершенні стадії полімеризації зміна діелектричної проникності стабілізуються. На стадії кінцевих перетворень зниження діелектричної проникності відбувається по лінійній залежності. Так, при часі затвердіння з 3 до 10 год вона знижується з 2,5 до 1,9 (рис. 4.2, крива 1). Різке зниження швидкості полімеризації (автогальмування), що виникає на певній стадії перетворення, характерно для тривимірної полімеризації. Для анаеробного герметика А-118 при часі затвердіння більше 24 год процес завершується і відбувається зупинка полімеризаційного перетворення, про що свідчить стабілізація діелектричної проникності.

Використання твердих дисперсних наповнювачів прискорює перебіг процесів полімеризації і знижує час затвердіння. Якщо матеріал наповнювача є активним металом або хімічною сполукою, що включає атоми активних металів, то досягається значне прискорення полімеризації процесів. При використанні бронзової пудри в складі полімерної композиції на основі анаеробного герметика А-118 її час затвердіння скорочується до 2 год (рис. 4.2, крива 2).

Таким чином, дослідження кінетики затвердіння анаеробного герметика А-118 і полімерної композиції показало, що час затвердіння, при якому досягається міцність, достатня для подальшого складання машини, становить 30 хв і 6 хв відповідно. Це час затвердіння, при якому формується зшитий полімер, і міцність клейового шва досягає близько 90% від свого кінцевого значення, для анаеробного герметика А-118 становить 6 год, для полімерної композиції на його основі - 2 год.

3.5 Дослідження деформаційно-міцнісних властивостей анаеробного герметика

Метою дослідження було вивчення деформаційно-міцнісних властивостей плівок анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі, які оцінювалися міцністю при одноосьовому розтягуванні плівок σ_p , відносним подовженням ε_p і питомою роботою деформації при розриві плівок a_p .

Міцність плівок при розриві анаеробного герметика склала 14,2 МПа (рис. 3.6). Плівки полімерної композиції мають міцність 17,6 МПа, тобто спостерігається збільшення міцності на 12%. Це пов'язано, по-перше, з позитивним впливом високодисперсного наповнювача на формування структури полімерної матриці, як більш однорідною і менш дефектною, по-друге - це підвищення модуля пружності полімерної композиції при введенні твердих дисперсних наповнювачів.

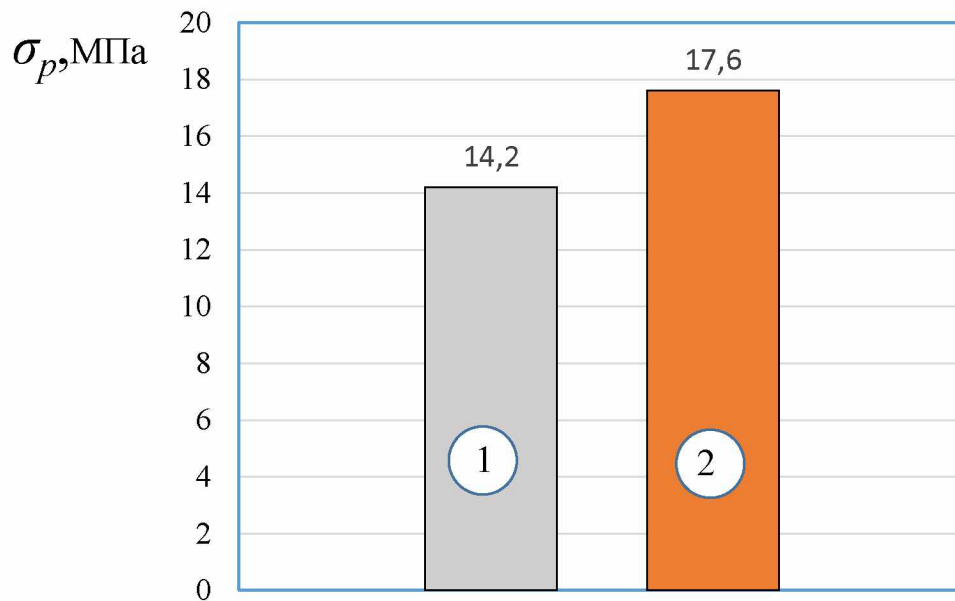


Рисунок 3.6 - Міцність при розриві плівок анаеробного герметика А-118 (1) і композиції на його основі (2)

Деяке підвищення модуля пружності компенсується поліпшенням деформаційних властивостей полімерної матриці з дрібною структурою, що призводить до незначної різниці в 6% відносної деформації плівок анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі (рис. 3.7).

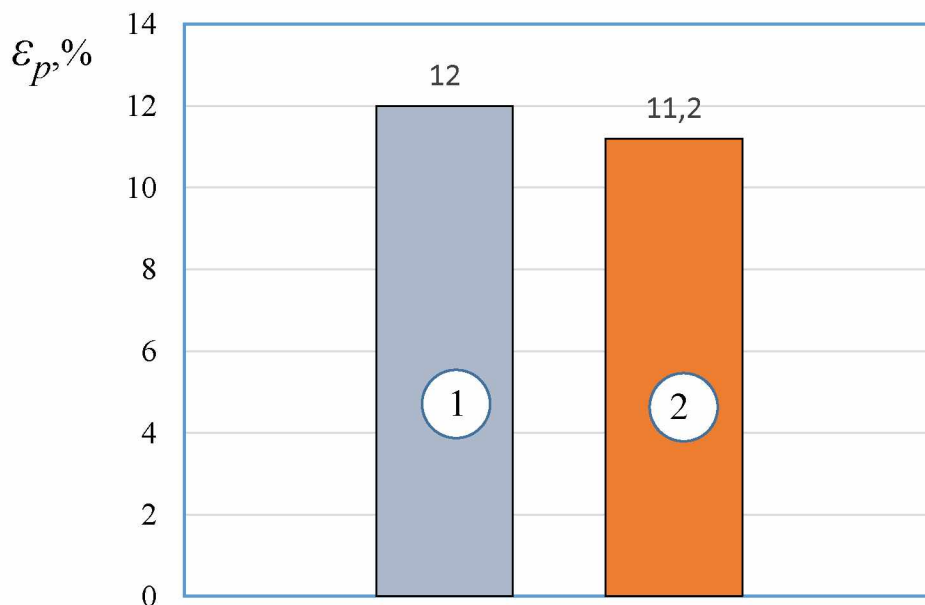


Рисунок 3.7 - Відносна деформація плівки анаеробного герметика А-118 (1) і композиції на його основі (2)

Питома робота деформації при розриві плівок анаеробного герметика А-118 склала $0,85 \text{ МДж/м}^3$, а композиції - $0,99 \text{ МДж/м}^3$ (рис. 3.8). Таким чином, введення мікротальку і бронзової пудри в анаеробний герметик призвело до підвищення питомої роботи деформації при розтягуванні на 16%.

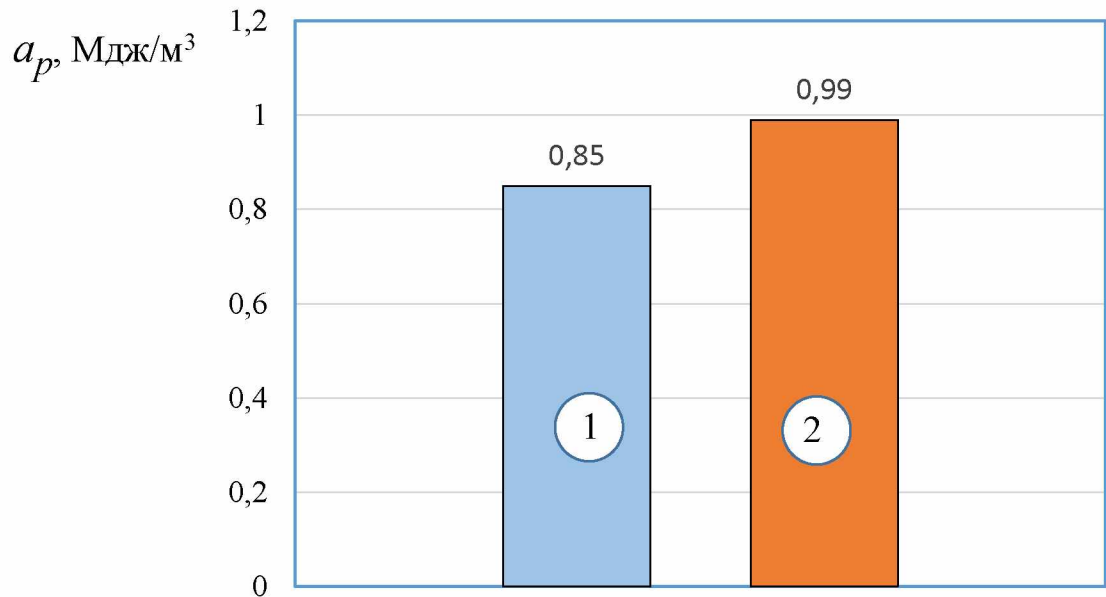


Рисунок 3.8 - Питома робота деформації при розриві плівок анаеробного герметика А-118 (1) і композиції на його основі (2)

3.6 Дослідження адгезійних властивостей анаеробного герметика

Метою дослідження було вивчення кінетики і характеру взаємодії анаеробного герметика А-118 і композиції на його основі з склеюваною поверхнею.

Результати дослідження представлені на рис. 3.9. За 4 хв анаеробний герметик А-118 і полімерна композиція, нанесені на сталеву підкладку, досягають рівноважного контакту, при цьому кути змочування складають 29° і 21° відповідно. Така різниця кутів змочування пояснюється наступним чином. Високодисперсний мінеральний порошок (мікротальк) при введенні і змішуванні з анаеробним герметиком адсорбує низькомолекулярні допоміжні

речовини з нього, які без використання наповнювача адсорбуються поверхнею підкладки та знижують адгезійну міцність.

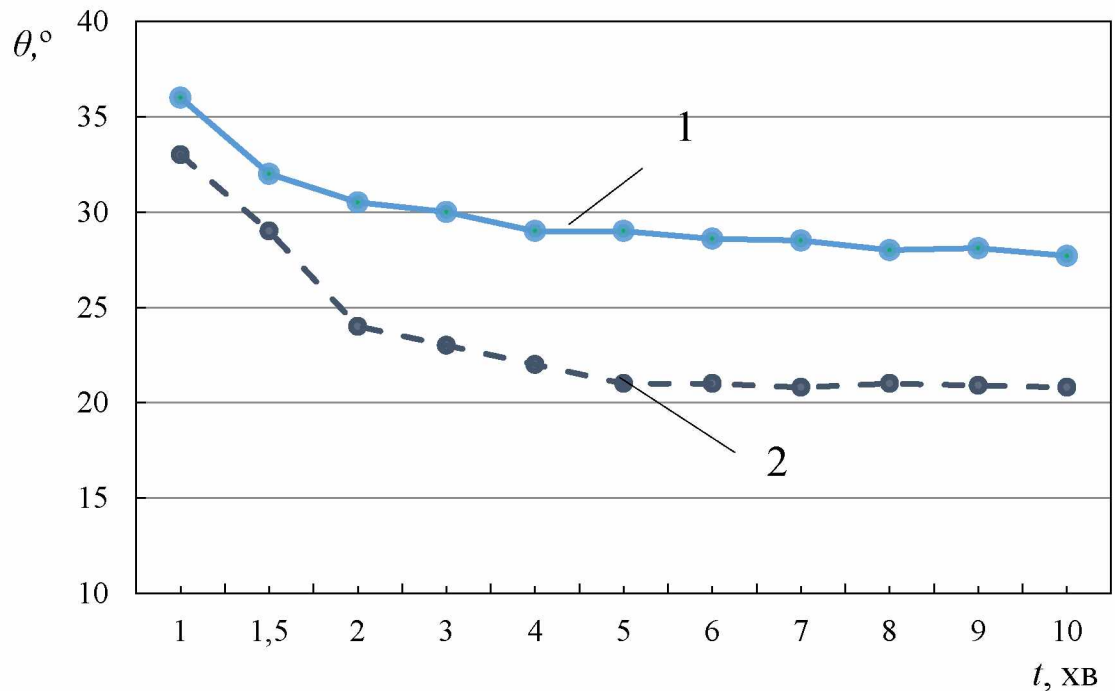


Рисунок 3.9 - Зміна кутів змочування анаеробного герметика А-118 (1) і композиції на його основі (2)

Таким чином, на першому етапі формування адгезійних властивостей клейового з'єднання (змочуванні поверхні) композиція більш активно взаємодіє з поверхнею підкладки при її змочуванні, ніж анаеробний герметик

Міцність клейового з'єднання при рівномірному відриві, виконаного анаеробним герметиком А-118 склала 18,6 МПа (рис. 3.10).

При використанні полімерної композиції міцність збільшилася до 21,8 МПа, або на 17%. Збільшення міцності клейового з'єднання пов'язано з поліпшенням взаємодії полімерної композиції з поверхнею деталі на етапі змочування і поліпшенням структури полімерної матриці.

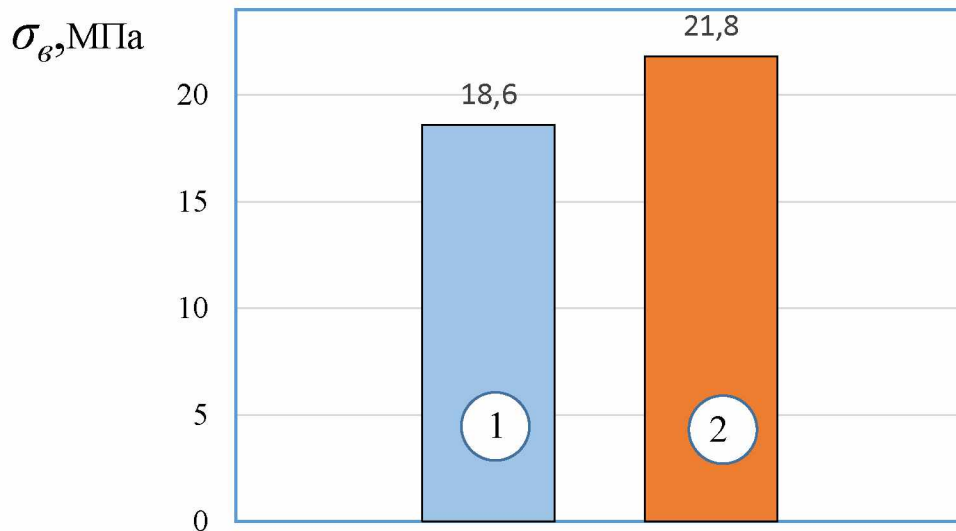


Рисунок 3.10 - Міцність клейового з'єднання при рівномірному відриві, виконаного анаеробним герметиком А-118 (1) і композицією на його основі (2)

Таким чином, дослідженнями встановлено, що введення мінеральних наповнювачів сприяє збільшенню адгезійної міцності клейових з'єднань.

Висновки

1. Деформаційно-міцнісні властивості плівок композиції на основі анаеробного герметика збільшуються в порівнянні з вихідним полімерним матеріалом. Питома робота руйнування при розтягуванні плівок анаеробного герметика А-118 склала $0,85 \text{ МДж/м}^3$, а композиції на його основі - $0,99 \text{ МДж/м}^3$.

2. При змочуванні поверхні композиція на основі анаеробного герметика А-118 більш активно взаємодіє з поверхнею, ніж ненаповнений герметик, при цьому кути змочування складають 21° і 29° відповідно. Міцність клейового з'єднання виконаного композицією склала $21,8 \text{ МПа}$, що більше міцності ненаповненого герметика на 17% .

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні - вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки [29].

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.) [29].

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України,

представники науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що зацікавлені у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою зацікавлених юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища разом із Міністерством охорони здоров'я України.

Об'єктом даної екологічної експертизи є досліджувана технологія відновлення нерухомих підшипникових з'єднань полімерними матеріалами.

При ремонті і відновленні деталей основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пил, що утворюється при обробці деталей на токарних, шліфувальних, хонінгувальних верстатах;
- різноманітні хімічні речовини та їх розчини, що використовуються при відновленні деталей шляхом нанесення покриттів;
- шум та вібрація при роботі металообробних верстатів та ін.

Дана технологія порівняно із традиційним способом дозволяє

1) зменшити потрапляння в навколишнє середовище металевих частинок, які утворюються при відновленні іншими способами та скорочує тривалість технологічного процесу;

2) збільшити міжремонтний ресурс відновлених деталей, що сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища при їх відновленні

4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [30]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в

світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

4.2.2. Вимоги безпеки при нанесенні полімерних покриттів

При нанесенні полімерних покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву третьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через задалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

У конструктивній розробці даного дипломного проекту запропоновано пристосування для нанесення зносостійких покриттів на внутрішню поверхню гільз циліндрів двигунів фрикційним способом. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

4.2.3. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретної складальної одиниці чи машини;

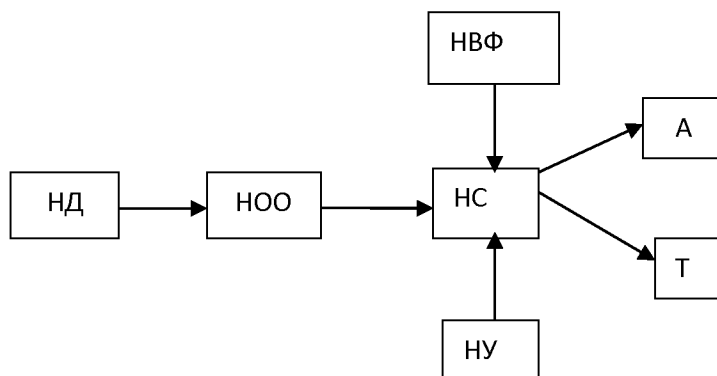
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

– створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони парці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ [31].

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).



НВФ – небезпечний виробничий фактор; НУ – небезпечні умови; НД – небезпечні дії; НО – небезпечні обставини; НС – небезпечна ситуація; А – аварія; Т – травма

Рисунок 4.1 – Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій

Основні небезпеки, які виникають під час нанесення зносостійких покриттів на гільзи автотракторних двигунів приведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій в технологічному процесів нанесення антифрикційних покриттів на гільзи автотракторних двигунів

Вид робіт, виробничий підрозділ, робоче місце, виробниче обладнання, склад агрегату	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
Приготування розчину для нанесення полімерного матеріалу	Розбризування, витікання розчину НУ	Працівник доторкнувся до розчину НД	Подразнення, опік хімічними речовинами НС	Травма Т	Провести інструктаж з питань охорони праці. Робота з хімічними речовинами лише у спецодязгу.
Нанесення покриття на поверхню	Поява на корпусі верстата електричного струму НУ-1 Робота з рухомими частинами верстата НУ-2	Працівник доторкнувся до корпусу НД-1 Працівник доторкнувся до швидко-обертової частини верстата НД-2	Ураження електричним струмом НС-1 Механічна дія рухомої частини верстата на тіло працівника НС-2	Травма Т	Регулярна перевірка стану заземлення установки та ізоляція проводів. Встановлення захисного обладнання на верстаті. Проведення інструктажу з питань охорони праці

4.2.4. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.

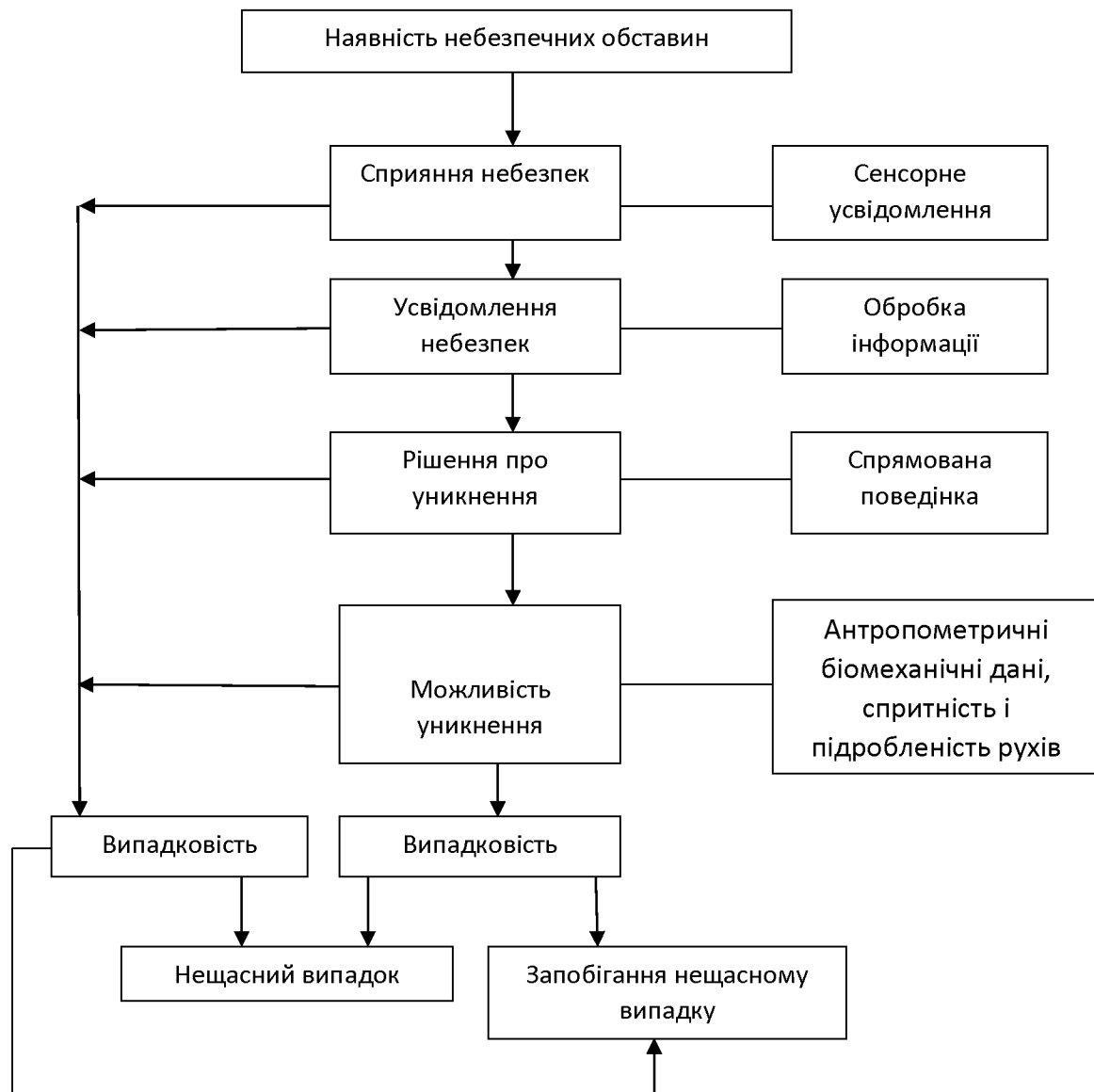


Рисунок 4.2 – Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

Схема поетадїйного аналізу умов виникнення і розвитку аварій наведена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Схема поетадїйного аналізу умов виникнення і розвитку аварій

Найменування стадії розвитку аварійної ситуації (аварії)	Основні принципи аналізу умов виникнення (переходу на іншу стадію) аварійної ситуації (аварії та її наслідків)	Способи і засоби попередження, локалізації аварії
Виникнення пожежі	Оцінка й аналіз: можливих масштабів пожежі (площа, кількість горючих продуктів, склад продуктів згорання, в т. ч. неповного); наявності й ефективності засобів гасіння пожежі; вміння персоналу діяти при ліквідації осередка займання; оперативності й оснащення ДПЧ; наявності і характеристик джерел запалювання	Виключення джерел запалювання; оснащення ефективними засобами гасіння пожежі, засобами сигналізації і зв'язку; дії персоналу і спецпідрозділів щодо рятування людей, гасіння пожежі
Травмування людей	Аналіз кількісних енергетичних характеристик пожежі (енергія випромінювання) та вибуху; наявність і кількість людей в зоні можливого ураження	Раціональне планування промислового майданчика. Розміщення поза межами зони можливого впливу пожежі будівель адміністративного, побутового призначення
Знос, утомленість матеріалу апарата	Перевірка вивченості корозійних властивостей застосовуваних речовин; наявність даних щодо швидкості корозії і зносу; відповідність матеріалу устаткування (трубопроводів), захисного покриття,	Застосування обладнання підвищеної надійності, ефективного захисного покриття і захисних пристроїв

	ущільнювальних матеріалів. Наявність умов для механічного ушкодження устаткування	
Вихід параметрів за критичні значення	Перевірка вивченості властивостей застосовуваних речовин; їх аналіз; виявлення особливо небезпечних речовин; виявлення параметрів, які визначають небезпечність технологічних процесів і їх критичні значення; оцінка достатності оснащення засобами, які виключають вихід параметрів за припустимі межі, їх ефективність, надійність	Дооснащення технологічних процесів засобами контролю, управління й протиаварійного захисту, підвищення їх надійності й ефективності; удосконалення технологічних процесів
Підвищена вібрація	Перевірка надійності й вірності кріплення апаратів, машин, трубопроводів, співосності з'єднань обертових пристроїв	Своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів

4.2.5. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій

У розділі охорони праці представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;

- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;
- 5) проведення навчання щодо дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування технології

Собівартість відновлення адгезивом 1 дм² посадочних місць можна визначається за формулою [32]:

$$C_n = C_{ЗГПов} + C_m, \quad (4.1)$$

де $C_{ЗГПов}$ – заробітна плата виробничих робітників, грн./дм²;

C_m – витрати на матеріали, які використовуються при відновленні 1 дм² посадочних місць, грн/дм².

Повну заробітну плату підраховуємо за формулою:

$$C_{ЗГПов} = C_{нр} + C_d + C_{соц}, \quad (4.2)$$

де $C_{нр}$ і C_d – основна і додаткова заробітна плата виробничих працівників, грн.;

$C_{соц}$ – відрахування із заробітної плати на соціальне забезпечення, грн.

Основну заробітну плату розраховуємо за формулою:

$$C_{нр} = t_{ср} \cdot C_{год} \cdot K_d, \quad (4.3)$$

де $t_{ср}$ – середня продуктивність відновленні 1 дм² посадочних місць, грн/дм² (табл. 5.3);

$C_{год}$ – годинна ставка робітників, приймаємо $C_{год} = 26,5$ грн.;

K_d – коефіцієнт доплати, приймаємо $K_d = 1,2$.

Таблиця 4.3 – Норма часу на відновлення 1 дм² поверхні посадочних отворів підшипників кочення в корпусних деталях композицією на основі анаеробного герметика А-118 [13]

Найменування операції	Норма часу, хв./дм ²
1. Абразивна обробка поверхонь, що склеюються	5
2. Приготування композиції	3
3. Обезжирення поверхонь	3
4. Нанесення композиції	1
5. Складання одиниці з наступним centruванням	2
6. Зняття центруючого пристосування і контроль якості	2
Всього:	16

$$C_{HP} = 0,25 \cdot 26,5 \cdot 1,2 = 7,95 \text{ грн./дм}^2.$$

Додаткову заробітну плату розраховуємо за формулою:

$$C_D = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{HP}}{100}. \quad (4.4)$$

Отже,

$$C_D = \frac{10 \cdot 7,95}{100} = 0,8 \text{ грн.}$$

Нарахування в фонд соціального страхування, в фонд безробіття і в пенсійний фонд визначаємо із виразу:

$$C_{соц.} = \kappa (C_{HP} + C_D) / 100, \quad (4.5)$$

де κ – сумарний коефіцієнт нарахування на соціальне страхування, в пенсійний фонд і фонд безробіття.

$$C_{соц.} = (37 (7,95 + 0,8)) / 100 = 3,2 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ЗПпов}} = 7,95 + 0,8 + 3,2 = 11,95 \text{ грн./дм}^2.$$

Витрати на матеріали, які використовуються при відновленні 1 дм² посадочних місць:

$$C_{\text{м.}} = H_{\text{м.}} + Ц_{\text{м.}}, \quad (4.6)$$

де $H_{\text{м.}}$ – норма витрати матеріалів на 1 дм² посадочних місць, кг/дм²;

$Ц_{\text{м.}}$ – ціна одиниці ремонтних матеріалів, грн./кг (табл. 4.4);

Таблиця 4.4 - Вартість матеріалів, що використовуються для відновлення посадочних місць підшипників кочення

Найменування матеріалу	Ціна, грн./кг	Витрата, кг/дм ²	Вартість, грн./дм ²
Анаеробний герметик А-118	12500	0,002	25
Ацетон технічний	75	0,010	0,75
Мікротальк	70	0,0002	0,014
Бронзовий порошок	800	0,00002	0,016
Всього	-	-	25,78

Собівартість відновлення 1 дм² посадочних місць:

$$C_n = 11,95 + 25,78 = 37,73 \text{ грн./ дм}^2.$$

Враховуючи дані ФГ «Олімп» Золочівського району Харківської області» за рік підлягають ремонту дві корпусні деталі тракторів МТЗ-80, одна корпусна деталь трактора ДТ-75, одна корпусна деталь трактора К-701, одна корпусна деталь тракторів Т-150, дві корпусні деталі автомобілів.

Загальні площі відновлення посадочних отворів в корпусних деталях складальних одиниць трансмісії: МТЗ-80 = 4,6 дм², ДТ-75 = 12,164 дм², К-700 = 13,066 дм², Т-150 = 8,54 дм², ЗІЛ-130 = 9,478 дм².

Загальні річні витрати на відновлення посадочних місць підшипників кочення в корпусних деталях тракторів і автомобілів за новою технологією:

$$Z_n = 2 \cdot 4,6 \cdot 37,73 + 1 \cdot 12,164 \cdot 37,73 + 1 \cdot 13,066 \cdot 37,73 + 1 \cdot 8,54 \cdot 37,73 + 2 \cdot 9,478 \cdot 37,73 = 2335 \text{ грн.}$$

Посадочні місця підшипників кочення в господарствах практично не відновлюють, так як для цього потрібно складне технологічне обладнання та кваліфіковані фахівці, а послугами спеціалізованих ремонтних підприємств господарства не користуються. Тому корпусні деталі зі зношеними посадочними місцями під підшипники замінюються на нові.

Тоді річна економія від впровадження нової технології:

$$C_p = \sum C_d - Z_n, \quad (4.7)$$

де $\sum C_d$ - річні витрати на купівлю нових корпусних деталей з гранично зношеними посадочними місцями підшипників кочення, $\sum C_d = 96900$ грн.

Тоді $C_p = 96900 - 2335 = 94565$ грн.

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія відновлення посадочних поверхонь підшипників кочення є екологічно безпечною.

Виконано аналізу умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Розраховано річний економічний ефект від впровадження запропонованої технології, що становить 94565 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що в якості основи високоефективної технології відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення необхідно використовувати полімерні матеріали на основі анаеробних герметиків.

2. Теоретичними дослідженнями встановлено, що при введенні в анаеробні герметики дисперсних наповнювачів, вони підвищують адгезійну міцність. В якості дисперсних наповнювачів використовують мінеральні наповнювачі (тальк, оксид алюмінію, каолін та ін.), що характеризуються великою пористістю.

3. Визначено оптимальний склад композиції на основі анаеробного герметика А-118: 100 мас.-ч. А-118, 9,6 мас.-ч. мікротальк і 1,2 мас.-ч. бронзової пудри.

4. Використання дисперсних наповнювачів інтенсифікує процес полімеризації і скорочує час затвердіння анаеробних герметиків. Установлено, що час затвердіння композиції на основі анаеробного герметика А-118 скорочується в 3 рази в порівнянні з герметиком і становить 2 год при температурі 20°C.

5. Деформаційно-міцнісні властивості плівок композиції на основі анаеробного герметика збільшуються в порівнянні з вихідним полімерним матеріалом. Питома робота руйнування при розтягуванні плівок анаеробного герметика А-118 склала 0,85 МДж/м³, а композиції на його основі - 0,99 МДж/м³.

6. При змочуванні поверхні композиція на основі анаеробного герметика А-118 більш активно взаємодіє з поверхнею, ніж ненаповнений герметик, при цьому кути змочування складають 21° і 29° відповідно. Міцність клейового з'єднання виконаного композицією склала 21,8 МПа, що більше міцності ненаповненого герметика на 17%.

7. Економічний ефект від впровадження нової технології 94565 грн.