

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА
РОБОТА**

01.12.МР.403«С»28.03.23.035 ПЗ

Бондар Сергій Вячеславович

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет Конструювання та дизайну
УДК 631.173:629.4.621

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
надійності техніки
(назва кафедри)
Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ” 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на тему: «Відновлення пошкоджень герметичності корпусних деталей
сільськогосподарської техніки полімерними
нанокомпозиціями»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Спеціалізація -
(назва)
Магістерська програма «Технічний сервіс машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
(назва)

Програма підготовки освітньо-професійна програма
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Гарант освітньої програми
К.Т.Н., доц. Новицький А.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівники магістерської роботи
ст. викладач Бистрий О.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)
Виконав Бондар С.В.
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет _____ конструювання та дизайну _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доц. Новицький А.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

“ ” _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Бондару Сергію Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Спеціалізація _____

(назва)

Магістерська програма «Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Програма підготовки освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи тему: «Підвищення ефективності та надійності експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки шляхом вдосконалення діагностування дизельної паливної апаратури»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 28.03.2023 р. №403 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 16.11.2023 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи 1. Огляд методик по використанню ПКМ в ремонтному виробництві 1.2. Технічний стан корпусних деталей, що поступають на відновлення 1.3 Каталоги технологічного обладнання та пристосувань для відновлення герметичності 1.4. Інструкції на використання ПКМ.

Перелік питань, що підлягають дослідженню: Реферат. Вступ. 1. Стан питання. Мета та завдання кваліфікаційної магістерської роботи 2.1 Фактори, що впливають на процеси адгезії. 2.2 Довговічність, як основа ресурсу полімерних матеріалів та фактори, що впливають на неї 3.1 Загальна методика досліджень 3.2 Об'єкти експериментальних досліджень 3.3 Методика дослідження герметизуючої здатності полімерних композиційних матеріалів 3.4 Методика дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості ПК 4 Результати досліджень та аналіз герметизуючої здатності. 5 рекомендації виробництву та техніко-економічне обґрунтування результатів Висновки. Літературні джерела. Додатки.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) 1 Корпусні деталі, технічний стан, дефекти. 2. Класифікація пробіів за формою 3 Класифікація способів відновлення герметичності деталей 4. Закладення тріщин фігурними вставками ння гідроциліндрів 5 Типи наноматеріалів 6. Класифікація нанонаповнювачів за геометричними параметрами 7 Змочування металу полімером 8. Класифікація процесів старіння полімерного матеріалу 9 Об'єкти експериментальних досліджень 10 Схема заміру деформування ПКМ 11 Вплив довжини тріщини на герметизуючу здатність 12 Схема технологічного процесу герметизації 13 Техніко-економічні розрахунки

Дата видачі завдання «21» вересня 2022 р.

Керівники магістерської роботи:

Новицький А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Бистрий О.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Бондар С.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

Зміст

Вступ	6
Реферат	7
РОЗДІЛ 1. Стан питання. мета та завдання дослідження	8
1.1 Корпусні деталі та їх призначення	5
1.2. Класифікація дефектів на прикладі тріщини та пробойн	8
1.3. Методи та засоби виявлення поверхневих (зовнішніх) дефектів корпусних деталей	15
1.4. Способи герметизації тріщини в корпусних деталях	20
1.5. Висновки, мета та завдання кваліфікаційної магістерської роботи	30
РОЗДІЛ 2. Теоретичні дослідження факторів, що впливають на адгезію	
2.1 Фактори, що впливають на процеси адгезії	32
2.2 Система «субстрат-адгезив» та оцінка її адгезійної міцності	40
2.3 Довговічність, як основа ресурсу полімерних матеріалів та фактори, що впливають на неї	46
2.4 Висновки	56
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	57
3.1 Загальна методика досліджень	57
3.2 Об'єкти експериментальних досліджень	64
3.3 Методика дослідження герметизуючої здатності полімерних композиційних матеріалів	66
3.4 Методика дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості ПКМ	69
3.5 Обробка результатів експериментальних досліджень	72
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	74
4.1 Результати досліджень та аналіз герметизуючої здатності	74
4.2 Висновки	78
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	79
5.1 Технологічні рекомендації	79

П

К

М

5.2. Методика розрахунку економічного ефекту	82
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТКИ	89

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Актуальність проблеми. Як свідчить реальна статистика, терміни фактичної експлуатації машин та обладнання перевищують нормативні у 2...3 рази, залишаються низькими показники надійності сільськогосподарської техніки. Рівень надійності техніки визначає величину витрат на її підтримку у працездатному стані, що становить до 15-20% собівартості механізованих робіт. Низька надійність техніки призводить до підвищених витрат на її обслуговування та ремонт, які становлять понад 10% від доходів за вироблену сільськогосподарську продукцію.

Мета роботи. Розробка технології герметизації тріщин корпусних деталей сільськогосподарської техніки полімерними наноконструкціями та розробка рекомендацій щодо їх застосування.

Об'єктами досліджень служили плівки та покриття з вітчизняних та зарубіжних полімерно - композиційних матеріалів (ПКМ), а також наноконструкції на їх основі; корпусні деталі з тріщинами, відновлені полімерними досліджуваними композиційними матеріалами.

Предмет дослідження. Дослідження впливу технологічних та експлуатаційних факторів на механічні властивості композиційних матеріалів та забезпечення надійності технічного стану відновлених корпусних деталей.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАДІЙНІСТЬ, КОРПУСНІ ДЕТАЛІ, ДЕФЕКТИЩІЛІСТНОСТІ, ПОЛІМЕРНО -КОНСТРУКЦІЙНІМАТЕРІАЛИ (ПКМ), МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ГРАНИЧНИЙ СТАН, ГРАНИЧНІ РОЗМІРИ, ДЕФЕКТАЦІЯ ,РЕМОНТ, ВІДНОВЛЕННЯ.

ВСТУП

Питанням відновлення надійності та вдосконалення технологій ремонту сільськогосподарської техніки присвячені праці багатьох вчених. На основі їх теоретичних та методологічних розробок було встановлено, що сільськогосподарські машини складаються з конструктивних елементів, що мають різну довговічність. Одними з основних деталей, що визначають надійність машин загалом, є корпусні деталі, які, незважаючи на планово-попереджувальний характер системи технічного обслуговування та ремонту машин, характеризуються таким поширеним дефектом як порушення герметичності.

Порушення герметичності інтерпретується як відмова вузла чи агрегату, що призводить до втрати працездатності машин та стає наслідком низьких економічних показників галузі. Даний дефект призводить до насичення мастильних матеріалів абразивними частинками, погіршення умов змащування пар тертя і як наслідок - значним простоєм техніки через велику трудомісткість розбирально-складальних робіт. Так, щорічні втрати паливно-мастильних матеріалів з цієї причини перевищують 120 тис. т, вихід із користування родючої землі сягає близько 2 тис. га, що у свою чергу призводить до втрати 8 млн. тон зерна. Як у стаціонарних, так і в польових умовах усунути цей дефект можна різними способами, однак найбільше поширення серед них знайшли полімерні композиційні матеріали на основі епоксидних смол. В даний час одним з перспективних напрямків у галузі ремонту сільськогосподарської техніки є використання наноматеріалів, додавання яких до полімерної матриці призводить до підвищених властивостей міцності модифікованих складів.

Основними продуктами нанотехнології в даний час є нанопорошки та наночастинки, що відрізняються розмірами, формою та специфічними властивостями, що виконують роль адсорбентів, катализаторів та модифікаторів хімічних реакцій, технологічних та конструктивних властивостей, що виготовляються з їх застосуванням матеріалів. Поліпшення

власностей цих матеріалів при використанні нанорозмірних частинок пов'язане з фізико-хімічними процесами та явищами, що відбуваються на поверхні взаємодіючих фаз, що забезпечує прискорення та повноту хімічних реакцій, посилення молекулярної взаємодії та ін.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1.1 Корпусні деталі та їх призначення

Корпусні деталі є найбільш відповідальними деталями автотракторної

техніки та багато в чому визначають надійність роботи всієї машини загалом

[8].

Ці деталі є дорогими та важковідновлюваними, до яких відносять [9,

10]: блоки та головки блоків циліндрів, корпусу шестеренного масляного та

водяного насосів, корпуси коробок передач, мостів, підшипників,

гідророзподільників, станини, каретки та інші корпусні деталі (рисунк 1).

Так, корпусні деталі машин є несучими елементами, що утворюють жорсткі

каркаси, всередині та зовні яких у заданому положенні фіксують інші деталі

та складальні одиниці. До їх основним (базовим) поверхням відносять -

привалочні площини та отвори під підшипники, а також деталі, що

обробляються з високою точністю, від стану поверхонь яких багато в чому

залежить безвідмовність та довговічність відремонтованих агрегатів [11].

Корпусні деталі машин також призначені забезпечувати взаємне

розташування скоординованих між собою і щодо площин роз'єму деталей, що

з'єднуються, і механізмів у статиці, а також правильна їх взаємодія в динаміці.

Для них характерні складна конструкція та конфігурація, значні розміри, маса

та висока вартість. Відмова корпусних деталей призводить до значних

простоїв техніки внаслідок великої трудомісткості розбирально-складальних

та відновлювальних робіт. У зв'язку з цим виникає необхідність захистити ці

деталі від зносів, деформацій, руйнувань, що зменшить потребу в їх ремонті

або заміні за повний термін служби [12]. Встановлено, що ресурс агрегатів, які

мали заміну всіх деталей на нові, а корпусні деталі не замінялися і не

відновлювалися, становить лише 30...40 % ресурсу нових агрегатів. Тому,

відновленню цих деталей приділяють першочергову увагу, тому що вони

піддаються неодноразовому ремонту і служать до списання машини.

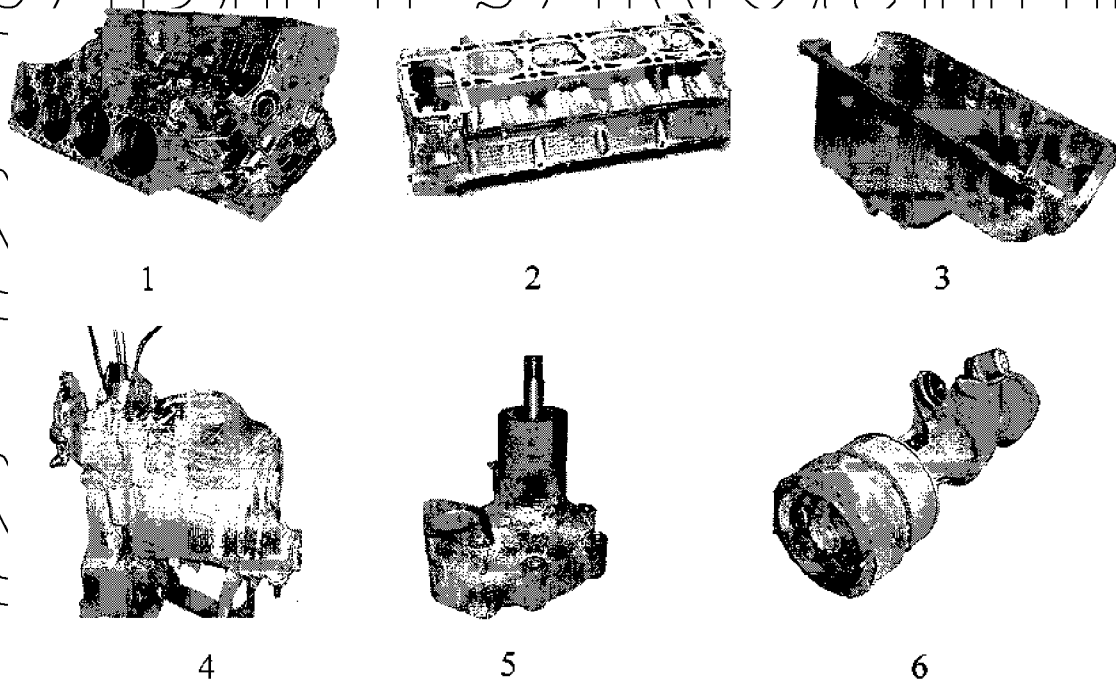


Рисунок 1.1 – Корпусні деталі автотракторної техніки

1 – блок циліндрів двигуна КАМАЗ-740; 2 – головка блоку циліндрів двигуна ЗМЗ-406; 3 – картер масляний двигуна Д-240; 4 – корпус коробки передач трактора Т-150; 5 – корпус водяного насоса двигуна А-41; 6 – провідний міст трактора К-700

Встановлено, що ресурс агрегатів, які мали заміну всіх деталей на нові, а корпусні деталі не замінялися і не відновлювалися, становить лише 30..40% ресурсу нових агрегатів. Тому, відновленню цих деталей приділяють першочергову увагу, тому що вони піддаються неодноразовому ремонту і служать до списання машини.

Корпусні деталі виготовляють методом лиття із сірого, ковкого, легированого та модифікованого чавуну, а також алюмінієвих та інших сплавів, з товщиною стінок від 5 до 70 мм [11, 12].

Деякі матеріали корпусних деталей сільськогосподарської техніки представлені у таблиці 1.1 та додатку А [13, 14].

11 із сірого чавуну [15]. Найчастіше виготовлення цих деталей застосовується чавун, найменше - сталь. Так, у роботі [9] відсоткове кількісне співвідношення чавунних виробів для різних одиниць сільськогосподарської техніки становить 3,5...45,0 %, у тому числі частку корпусних деталей доводиться 1,7...24 %, які маса сягає 70 % від загальної маси машин.

Таблиця 1.1
Матеріали корпусних деталей тракторів МТЗ-80, 80Л, 82, 82Л

№ п/п	Найменування деталей машин	Матеріал
1	Корпус насоса	АЛ 4
2	Корпус гідронасоса	АЛ9
3	Головка циліндрів, корпус регулятора та редуктора	АЛ 10В
4	Корпус водяного та шестеренного масляного насоса	СЧ15
5	Корпуси муфти зчеплення, роздавальної коробки та коробки передач, ходозмінника, заднього мосту	СЧ18
6	Блок циліндрів, нижній корпус термостата, корпус гідроциліндрів, картер	СЧ21
7	Корпус переднього мосту	Сталь 45

1.2 Класифікація дефектів на прикладі тріщин та пробоїн

Підвищення надійності сільськогосподарської техніки сьогодні є важливим завданням, оскільки її прості призводять до порушення агротехнічних термінів і, як наслідок - значних втрат врожаю. Готовність парку машин до виконання сільськогосподарських робіт залежить як від виробників, які гарантують певний ресурс і термін служби техніки, що поставляється, так і від споживачів, що здійснюють її експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт.

Незважаючи на планово-попереджувальний характер системи технічного обслуговування машин у сільському господарстві, вихід їх з ладу відбувається через експлуатаційні відмови корпусних деталей [16].

12 Так у 80...90 % випадків відмови призводять до зношування деталей [17] і з'являються в них через дефекти втомного походження, викликаних

Так, крихке руйнування характеризується, як правило, гострою і тріщиною, що гілкується (рисунок 1.3 а), швидкість поширення якої становить приблизно 10 ... 70% швидкості звуку, а рух відбувається за рахунок накопичення пружної енергії.

Для в'язкого руйнування характерна тупа, тріщина, що розкривається (рисунок 1.3 б), з малою швидкістю поширення і значною пластичною деформацією. Так, крихке руйнування характеризується, як правило, тонкою і тріщиною, що гілкується (рис.1.3 а), швидкість поширення якої становить приблизно 10 ... 70% швидкості звуку, а рух відбувається за рахунок

накопичення пружної енергії

Для в'язкого руйнування характерна тупа, тріщина, що розкривається (рис. 1.3 б), з малою швидкістю поширення і значною пластичною деформацією

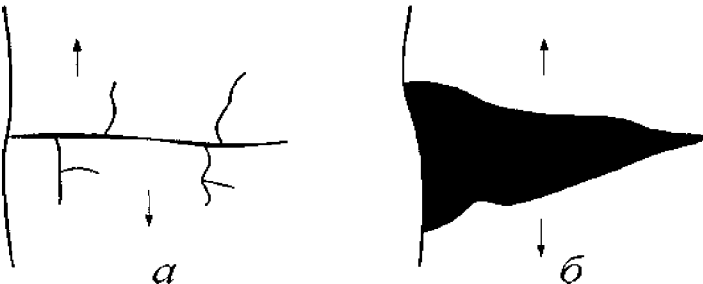


Рисунок 1.3 – Вид крихкої (а) та в'язкої (б) тріщини

Таблиця 1.2 – Можливі дефекти корпусних деталей

№ п/п	Найменування деталі	Можливі дефекти
1	Блок циліндрів двигуна	Пори, тріщини та пробоїни на стінках водяної сорочки, корозія посадкових місць під гільзи
2	Головка циліндрів	Тріщини та пробоїни на стінках та між гніздами клапанів
3	Піддон картера двигуна	Тріщини та пробоїни
4	Картери коробок передач, роздавальних коробок та задніх мостів, блок циліндрів компресора	Тріщини, пори та пробоїни, знос посадкових місць під підшипники кочення

Аналіз відеотка вибракування блоків циліндрів, що надходять у ремонт, дозволяє зробити висновок про необхідність подальших пошуків щодо вдосконалення та доведення конструкції блоків циліндрів двигунів, з метою зниження їх виходу в ремонт через тріщиноутворення.

З роботи [30] випливає, що головки циліндрів є довговічними базовими деталями двигунів, термін служби яких становить 20...25 років і перевищує термін служби блоків циліндрів на 20...25%. У багатьох роботах систематизовано результати досліджень дефектів головок блоків циліндрів, на підставі яких встановлено, що передчасне їх вибракування відбувається також через утворення тріщин (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3
Дефекти головок циліндрів двигунів, які надійшли в капітальний ремонт

Найменування дефектів	Кількість дефектів головок циліндрів, %					
	СМД-62	ЯМЗ-238	ЯМЗ-238НБ	А-41	Д-240	СМД-14НГ
Об'єм вибірки виробів, шт.	57	320	237	50	54	61
Тріщини:						
- водяної сорочки	5		9	8	-	-
- у перемичці між отвором під розпилювач форсунки та клапанним гніздом	0,3	22	45	4 (44)*		-
- між клапанними гніздами	0,3	-	-	2	-	7
- у раніше заварених перемичках	-	0,6	-	-	-	-
- бурта під кришку головки циліндрів	-	0,6	-	-	-	-

* - наскрізні тріщини

Тріщини в корпусних деталях бувають різних розмірів і форми. Так, згідно розміри тріщини можуть досягати від 2 до 600 ... 800 мм, їх може бути одна, дві і навіть три в одному виробі. Наприклад, тріщини водяних сорочок, у V-подібних двигунів можуть виникати одночасно як з правого, так і з лівого

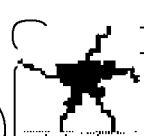
боку блоків, а в рядних двигунах їх може бути одна, в рядкових дві і в продиюких випадках три. Вони можуть бути наскрізними та ненаскрізними, довгими та короткими, доступними для ремонту та недоступними, внутрішніх стінок та зовнішніх, втомними або від дії разових динамічних навантажень, навантажених або малонавантажених елементів блоків.

Грунтуючись на даних [24], тріщини, що виникають на тонкостінних і товстостінних деталях, класифікують по довжині, які можуть бути короткими до 150 мм і довгими - більше 150 мм. Пробоїни поділяються за розмірами на невеликі, діаметр яких становить до 25 мм, і великі – понад 25 мм.

Класифікація пробоїн за формою представлена рис. 1.4, а зображення тріщин і пробоїн рис. 1.5.



- звичайна пробоїна



- рвана пробоїна

Рисунок 1.4- Класифікація пробоїн за формою

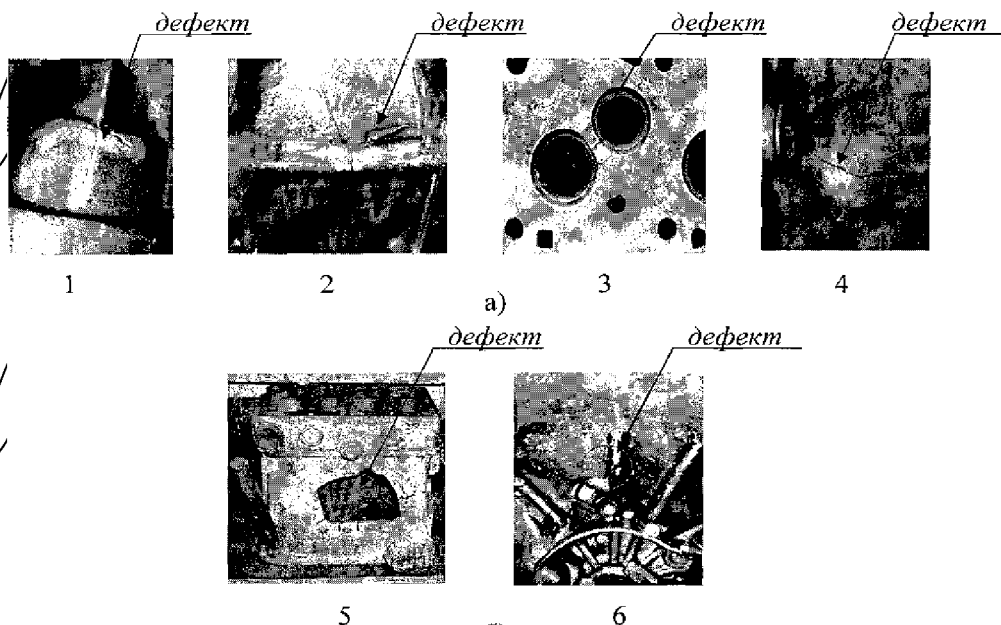


Рисунок 1.5- Пошкодження на прикладі: а - тріщиноутворення в: 1,2- блоках циліндрів; 3 - Головці блока, 4 - корпус КПП; б - пробоїни в: 5 - блоці циліндрів; 6 - корпус КПП

Вибраковування корпусних деталей здійснюють залежно від кількості та довжини тріщин. Так, наприклад, чавунні блоки циліндрів Д-240, Д-241, Д-242, Д-50, СМД-18Н, СМД-14НГ, СМД-19, СМД-20, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240Б, СМД-62 та СМД-72 ремонтують у тому випадку, якщо довжина тріщини водяних сорочок не перевищує 150...250 мм. За наявності більше однієї тріщини на водяних сорочках та довжиною, що перевищує 250 мм, блоки циліндрів, як правило, выбраковують [26].

Слід також звернути увагу, що кількість корпусних деталей з тріщинами досягає до 20% і обмежує подальше їх використання, у зв'язку з чим усунення цього дефекту необхідно приділяти одне з першочергових місць [9].

1.3 Методи та засоби виявлення поверхневих (зовнішніх) дефектів корпусних деталей

Для контролю якості матеріалів деталей та з метою виявлення в них дефектів застосовується комплекс методів та засобів неруйнівного контролю – дефектоскопія. Поверхневі (зовнішні) дефекти в матеріалі деталей, що були в експлуатації, умовно поділяють на явні та приховані. Так до явних дефектів відносять тріщини, обломи, пробоїни, змінання, корозію, тобто. найчастіше виявляються зовнішнім оглядом неозброєним оком, через лупу 5...10 - кратного збільшення чи обмацуванням. Для виявлення мікроскопічних або прихованих дефектів застосовують такі методи контролю (дефектоскопії) як: капілярні, виявлення підтікання газу або рідини, магнітні та акустичні, характеристики яких представлені в додатку [3 1, 32] .

1.4 Способи герметизації тріщин корпусних деталей

Існує багато способів відновлення герметичності корпусних деталей сільськогосподарської техніки, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Кузнецов С.А. [15] проводить класифікацію способів відновлення герметичності, представлену таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Класифікація способів відновлення герметичності деталей

СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ

Зварюванням	Постановкою додаткової деталі	Нанесенням полімерних матеріалів на основі епоксидних смол, сумішей холодного затверднення
-------------	-------------------------------	--

Застосування вищевказаних способів ремонту деталей забезпечує їх післяремонтні ресурси лише на рівні, близькому до ресурсів нових деталей.

В роботах багатьох авторів, способи відновлення герметичності класифікують на не зварювальні, зварювальні та комбіновані (табл. 1.5).

Таким чином, вибір найбільш технологічного процесу відновлення деталей машин повинен враховувати ряд вихідних даних, таких як розміри, форму та точність виготовлення деталі, її матеріал, термічну обробку, умови роботи, вид та характер дефекту. Тому, при виборі оптимального способу

відновлення деталей необхідно керуватися такими категоріями як: застосовність, довговічність та техніко-економічні.

Таблиця 1.5

Класифікація способів відновлення герметичності деталей

СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ		
НЕ ЗВАРЮВАЛЬНИМ	ЗВАРЮВАННЯМ	КОМБІНОВАНИ
Із використанням полімерів	Гарячим	Зварювання полімерними матеріалами
Пропиткою	Напівгарячим	Зварювання слюсарно-механічними методами
Заливкою рідким чавуном	Холодне	
Пайкою		

1.4.1 Герметизація тріщин зварюванням

Зварюванням називається процес отримання нероз'ємного з'єднання за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що з'єднуються, при їх нагріванні або пластичному деформуванні, за допомогою якої усувають

тріщини, приварюють відламани і додаткові деталі, заварюють зношені отвори та ін.

Велика різноманітність форм і розмірів сталевих деталей обумовлює необхідність застосування в ремонтному виробництві різних видів зварювання, за допомогою яких можливе усунення тріщин у цих деталях. Дані методи відновлення представлені таблиці 1.6

Таблиця 1.6

Способи усунення тріщин зварювальними способами

№ п/п	Спосіб відновлення	Галузь застосування	Недоліки способу
1	Ручна дугова	Заварювання тріщин, обломів, приварювання накладок, вставок, латок, наплавлення зносостійких матеріалів	Окислення металу; поглинання азоту; вигорання легуючих добавок; відбуваються
2	Автоматична та механізована дугова	Заварювання тріщин, обломів, приварювання накладок, вставок, латок	об'ємні та структурні перетворення, що призводять до
3	Аргонодугова	Зварювання та наплавлення алюмінію та корозійстійкої сталі	короблення деталей, порушення термічної обробки та зниження твердості
4	Газова	Заварювання тріщин, приварювання обломів	

При ремонті тріщин у чавунних деталях машин використовують дугове зварювання металевим або вугільним електродами, газове зварювання, термітне зварювання і заливку рідкого чавуну, однак за станом деталі, що зварюється застосовують зварювальні способи відновлення, що підрозділяються на гаряче, напівгаряче і холодне зварювання.

Для гарячого зварювання характерний попередній підігрів дрібних деталей до $+600...700\text{ }^{\circ}\text{C}$, а великогабаритних деталей із товщиною стінки понад 30 мм - до $+700...800\text{ }^{\circ}\text{C}$, з наступним, після зварювання, повільним охолодженням [39]. У разі зварювання великих виробів рекомендується застосовувати місцеве підігрів [40]. Даний вид зварювання включає механічну обробку під зварювання, формування зварюваних деталей, їх нагрівання, зварювання і охолодження. Гаряче зварювання здійснюється із застосуванням

чавунних електродів зі стрижнями марок А та Б, а найбільш поширеними електродними покриттями є ЗМЧ-1 та УЗТМ-74.

Усі вищезгадані способи зварювання мають властиві їм недоліки. Так, до недоліків гарячого зварювання відносять: необхідність складного та громіздкого нагрівального обладнання;

- проблема підтримки температурного режиму;
- невисока продуктивність процесу;
- поживність короблення деталі;
- екологічно важкі умови зварювальника;

- дорогий та трудомісткий процес;
- ймовірність погіршення якості з'єднання;

Для напівгарячого зварювання характерні такі недоліки як:

- необхідність громіздкого нагрівального обладнання;
- складність підтримки необхідної температури;

- тривалість охолодження;
- складна техніка зварювання та складність отримання необхідного шва.

Незважаючи на те, що холодне зварювання є найбільш мобільним

способом виправлення дефектів, ніж гаряче та напівгаряче, для неї також

характерні такі недоліки як: висока схильність до появи тріщин і вибілених структур у самому шві та навколошовній зоні, необхідність дотримання техніки зварювання.

Слід також враховувати, що технологічні процеси зварювання

займають чільне місце під час ремонту деталей машин сільськогосподарської техніки, оскільки з допомогою відновлюють значний відсоток всіх деталей

[34]

1.4.2 Герметизація тріщин пайкою

У сучасному виробництві та ремонті техніки паяння, як і зварювання є

одним з найбільш поширених способів отримання нероз'ємних з'єднань деталей у твердому стані за допомогою розплавленого шару (припою). Одним з основних переваг паяння є утворення паяного з'єднання при температурі

нижче температури плавлення металів, що з'єднуються. Сучасні способи пайки відповідно до ГОСТ 17349-79 прийнято класифікувати за такими ознаками як: видалення оксидної плівки, кристалізації паяного шва, отримання припою, заповнення зазору припоєм, джерела нагрівання, наявності тиску на паявані деталі, одночасності виконання паяних сполук.

Класифікація способів пайки за джерелом нагріву представлена (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Класифікація способів паяння за джерелом нагрівання

СПОСОБИ ПАЙКИ ПО ДЖЕРЕЛУ НАГРІВУ	
СПОСОБИ НАГРІВУ	ПАЙКА МЕТАЛУ З КЕРАМІКОЮ
<ul style="list-style-type: none"> - нагрітим газом; - екзотермічно; - електролітно; - газополуменево; - зануренням в розплавленій припой; - світловим промінням; - лазером; - в термомечі; - конденсаційно 	<ul style="list-style-type: none"> - нагрітими штампами; - нагрітими блоками; - паяльником; - зануренням в розплавлену сіль; - індукційно; - електронно-променево; - електроопором; - електродугою; - інфрачервоними променями

Міцність паяного з'єднання багато в чому залежить від підготовки поверхні. Так, до найпростіших методів відносять прогрів газовим пальником та обробку соляною кислотою. Для отримання якісного паяння також застосовують безелектролізне міднення та електрохімічну обробку.

Поряд із вищезазначеними перевагами для паяння характерні такі недоліки як:

- обмеженість закладення тріщин у чавунних деталях через складність технологічного процесу;
- Низька продуктивність [38];
- неможливість закладати тріщини довжиною понад 150 мм;
- проблематичність закладення величини паяльного зазору, що перевищує 0,3 мм [52];
- не завжди міцність, що забезпечується;

- Проблема використання при ремонті товстостінних поверхонь деталей машин [34].

1.4.3 Герметизація тріщин зварюванням-паянням

Для усунення тріщин на механічно оброблених поверхнях рекомендується використовувати зварювальну пайку, перевагою якої є нерозплавлення основного металу з використанням припоїв і флюсів.

Так, зварювання-паяння чавунних деталей для виключення відбиту чавуну та появи вторинних тріщин виконують при температурі $+700...750^{\circ}\text{C}$

із застосуванням латунних припоїв ЛОК59-1-03, ЛОМНА-49-1-10-02, ЛК-62-

05 та спеціальних поверхнево-активних флюсів ПСН-1 та ФПСН-2 для забезпечення високої змочуваності чавуну припоєм [11].

До найсерйозніших недоліків відносять.

- можливість усунення лише дрібних дефектів на попередньо оброблених поверхнях [54];

- складна технологія та низька продуктивність [35].

1.4.4 Герметизація тріщин просоченням

У роботі [55] тріщини, що виникають в системі охолодження двигунів внутрішнього згоряння, рекомендується усувати просоченням, що представляє собою рідинно скляний розчин, що заливається в систему охолодження працюючого двигуна.

Для даного способу, незважаючи на його дієвість, властиві такі недоліки як: можливість засмічення системи охолодження; малий термін служби складу через можливість його розкладання під дією теплоти та води; неможливість закладення тріщин значних розмірів та обмеженість методу.

1.4.5 Герметизація тріщин фігурними вставками

Тріщини в корпусних деталях сільськогосподарської техніки також усувають слюсарно-механічним методом (рис. 1.6) з використанням фігурних вставок, виготовлених прокаткою з малавуглецевої сталі. Сутність методу полягає у стягуванні тріщини фігурною вставкою за рахунок меншої міжцентрової відстані між циліндрами цієї вставки в порівнянні з відстанню між отворами

фігурного паза. За допомогою даного методу тріщини довжиною до 50 мм (у перемичках між гільзами циліндрів, клапанними гніздами і т.д.) усуваються гільки фігурними вставками, що стягують, а при довжині більше 50 мм - вставками, що стягують і ущільнюють.

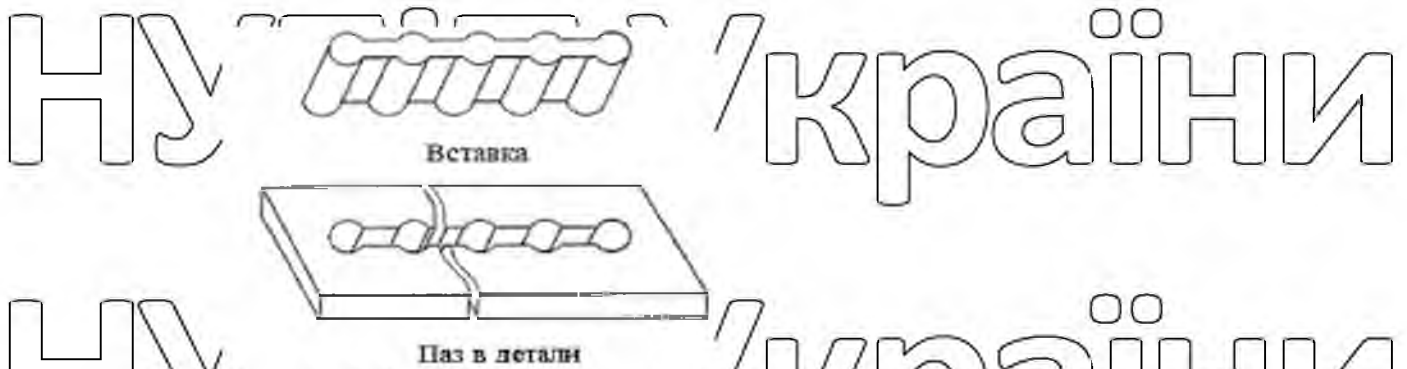


Рисунок 1.6 - Закладення тріщин фігурними вставками
Ущільнюючі та стягувальні фігурні вставки, що застосовуються при

закладенні тріщин, представлені на рис. 1.7.

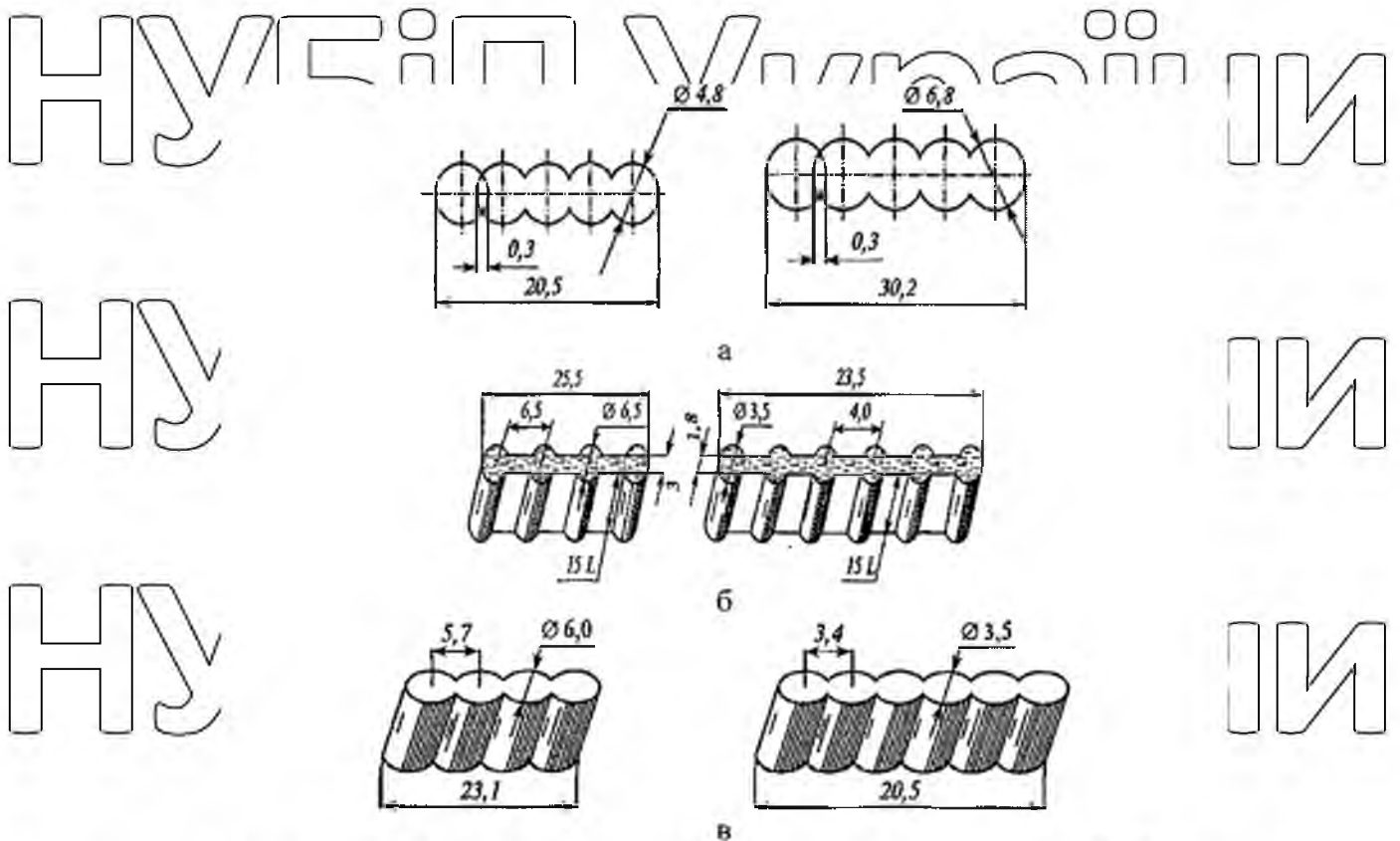


Рисунок 1.7 Ущільнюючі (а) та стягуючі (б, в) фігурні вставки
Основними перевагами методу є: - створення міцного з'єднання;
- низька трудомісткість; - простота і доступність.

1.4.6 Герметизація тріщин штифтуванням

У багатьох випадках тріщини в корпусних деталях, до яких пред'являється умова герметичності, а саме: корпуси коробок передач, задніх мостів, водяні сорочки блоків циліндрів та інші деталі успішно усувають екологічно чистим і простим методом, як штифтування [6, 60], схема закладення якого представлена рисунку 1.8.

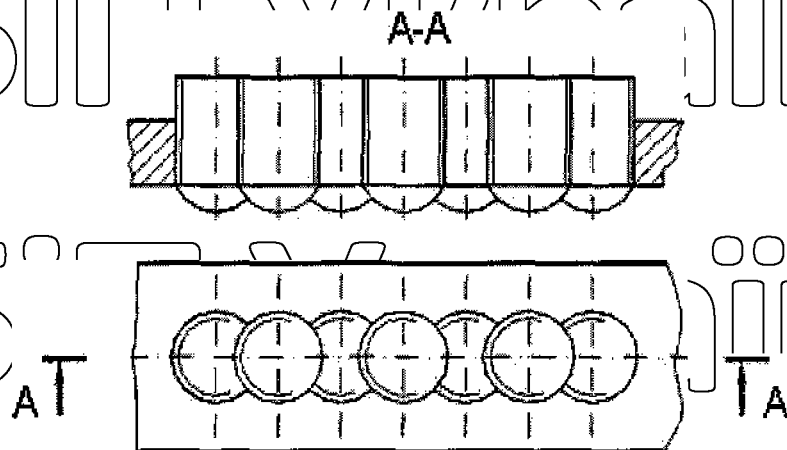


Рисунок 1.8- Схема заробки тріщин штифтуванням

Сутність методу полягає у загортанні тріщини різьбовими штифтами по всій її довжині, з попереднім засвердлюванням кінців тріщини, нарізанням в них різьблення з наступною установкою в них мідних або бронзових штифтів.

Отвори свердлять таким чином, щоб кожен штифт перекривав сусідній приблизно до 1/3 діаметра.

1.4.7 Герметизація тріщин епоксидними смолами та полімерними композиційними матеріалами на їх основі

Переважає більшість герметизуючих складів, які застосовуються для ремонту корпусних деталей сільськогосподарської техніки, відноситься до класу полімерних композицій. Їх найважливішими перевагами перед полімерами є: підвищена жорсткість, міцність, стабільність розмірів, теплостійкість, робота руйнування та ударна міцність; регульовані електричні та фрикційні властивості; знижена газо- та паропроникність, а також низька вартість [61].

В даний час отримання полімерів можливе шляхом з'єднання поліфункціональних олигомерів - сполук з низьким ступенем полімеризації, що займають за розміром молекул область між мономерами і полімерами, сітчастий полімер.

Залежно від призначення олигомерних композицій, до їх складу вводяться нанов'язувачі, пластифікатори, затверджувачі, прискорювачі затвердіння, ініціатори полімеризації, пігменти та інші компоненти [24].

У виробничій практиці ремонту автомобілів найбільшого поширення серед них набули численні композиції вітчизняного виробництва, таких як: ЕД-16, ЕД-20 та ЕД-22 (Е - епоксидна, Д - дифенілпропанова; цифра вказує нижню межу вмісту епоксидних груп), відповідних ГОСТ 1058 – 84 (табл. 1.9).

Таблиця 1.9

Характеристики епоксидно – діанових сполук

Найменування показників	Норми для марок		
	ЕД-22	ЕД-20	ЕД-16
Молекулярна маса	Не більше 390	390... 430	480... 540
Щільність за +25 °С, г/см ³	1,165	1,166	1,168
Зовнішній вигляд	Низьков'язка прозора рідина	В'язка прозора рідина	Високов'язка прозора рідина
Колір	Від світло-коричневого до коричневого		
Зміст епоксидних груп, %	22,1...23,6	20,0... 22,0	16,0... 18,0
Температура розм'якшення,	-	0	+10
Динамічна в'язкість за +25 °С, мПа·с	7000...13000	16000...22000	5000...20000 (при +50 °С)

Якісні фізико-механічні властивості епоксидні смоли проявляють у затвердженому стані, в який переходять в результаті взаємодії функціональних різнотипних груп або ненасичених зв'язків із низькомолекулярними речовинами, які називаються затверджувачами. У

такому разі, хімічна природа та будова молекул затверджувача багато в чому визначають структуру сітки та впливають не тільки на технологічні властивості вихідних композицій, а й на експлуатаційні характеристики полімерів [61].

В загальній класифікації розрізняють затверджувачі холодного (температура затвердіння $+16...20\text{ }^{\circ}\text{C}$) та гарячого (температура затвердіння $+100...200\text{ }^{\circ}\text{C}$) затвердіння. До перших відносяться аміни (поліетиленполіамін, етилендіамін, гексаметилендіамін, гексаметилентріамін), низькомолекулярні поліаміди (Л-18, Л-19, Л-20 та ін), а до других - ангідриди дикарбонових кислот (малеїнової, фталевої та ін), кислот (диціандіаміди).

Враховуючи різноманіття затверджувачів, для практичного використання придатна лише мала частка сполук, за допомогою яких можливе затвердіння епоксидних композицій у перемінному діапазоні температур.

Вказаним вимогам відповідає підгрупа амініх затверджувачів, до складу якої входять поліаміноалкілфеноли, що дозволяють полімеризувати епоксидні смоли в інтервалі температур від -5 до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, що забезпечує життєздатність епоксидних композицій. До представників вищевказаної групи відноситься

поліетиленполіамін (далі - ПЕПА), що є найпоширенішим затверджувачем епоксидних смол. При ремонті машин на лінії також рекомендуються епоксидні суміші з затверджувачем етилендіамінофенолом (АФ-2), або діетилентріамінофенолом (УП-538Т), які призводять до більш швидкого затвердіння порівняно з ПЕПА.

Затверджувачі вводяться безпосередньо перед використанням епоксидних смол у строго розрахунковій кількості [64]. Слід враховувати, що їх недолік у процесі формування адгезійного з'єднання може призвести до насичення приповерхневого шару епоксидної смоли водою та гідрсполукою алюмінію, а відповідно, до неповного її затвердіння та розміщення всієї полімерної системи [65].

Аналіз ПКМ на основі епоксидних смол дозволяє зробити висновок, що епоксидні композиції є найпоширенішими матеріалами під час ремонту машин та обладнання. Серед цих матеріалів вітчизняні переважно орієнтовані на універсальність, оскільки їх застосування менш залежить від виду контактного матеріалу на відміну зарубіжних аналогів [12].

1.4.8 Структурування композиційних полімерних матеріалів використанням нанопоповнювачів

Концепція наноматеріалів уперше чітко була сформульована у 1981 році Глейгером, який ввів у наукову термінологію нові терміни: спочатку нанокристалічні матеріали, потім наноструктурні, нанофазні та нанокомпозитні. Основний акцент він зробив на вирішальній ролі численних поверхонь розділу в наноматеріалах як основу для істотної зміни властивостей твердих тіл незалежно від їх хімічної природи та атомних розмірів.

У зв'язку з цим одним з перспективних способів регулювання властивостей ПКМ є введення в полімерну матрицю нанорозмірних наповнювачів. Дані нанопоповнювачі є перехідні стану речовин - макроскопічні ансамблі ультрамалих частинок з розмірами близько 10... 100 нм або параметром, який хоча б в одному вимірі має не більше 100 нм. Так, до основних властивостей відносять: високу поверхневу активність; здатність зменшувати усадку, знижувати коефіцієнт лінійного (термічного) розширення затверденої композиції, збільшувати теплопровідність та термостійкість [61].

Нанопоповнювачі також дозволяють створити в матеріалі метастабільні структури з великим запасом внутрішньої енергії, значно посилюють взаємозв'язок між структурними фрагментами, і в цілому різко змінюють фізико-хімічні та фізико-механічні властивості композицій, що наноструктуруються.

Класифікацію наноматеріалів проводять за типом (рис. 1.12), розміром та геометричними параметрам.



Рисунок 1.12 – Типи наноматеріалів

До найважливішого параметра нанонаповнювачів відноситься розмір часток, сильно змінює їх фізико-хімічні властивості. Однією з головних розмірних характеристик яких є гранулометричний склад (далі - ГС), що відображає вміст частинок або зерен у певному інтервалі розмірів по відношенню до їх загальної кількості. Так, до розмірних характеристик нанонаповнювачів також можна віднести величину питомої площі поверхні, середній розмір частинок або зерен, середній розмір об'ємно-кристалічних ґрат (далі - ДКР), розподіл за розмірами ГС частинок, зерен та ДКР [78].

Класифікацію за розмірами проводять відповідно до трьох видів, з яких частинки перших двох видів – колоїдні, останнього – грубодисперсні [79]:

- нанорозмірні - з розмірами порядку від 1...30 до 50 нм;
- високодисперсні - з розмірами від 30...50 до 100...500 нм;
- Частиці мікронних розмірів (флоккули) - з розмірами від 100 ... 500 до 10 000 нм.

Класифікуючи за геометричними параметрами, наноматеріали поділяють на одновимірні, двовимірні та тривимірні (об'ємні), що відрізняються призначенням та розмірними особливостями (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

Класифікація наноповерховачів за геометричними параметрами

№ п/п	Група	Тип наноматеріалів	Характерні властивості (призначення)	Розмірні особливості
1	2	3	4	5
1	Одновимірні	Тонкі рідкі плівки, адсорбційні моношари, тверді покриття	Антикорозійні, антиадгезійні, гідрофобні, пропизносні властивості	Один розмір (товщина) знаходиться в наноінтервалі, а два інших (довжина і ширина) можуть бути як завгодно великі
2	Двовимірні	Вуглецеві нанотрубки Нанотрубки з регульованим діаметром Нанотрубки як сенсори Ниткоподібні кристали вуглецевих, борних, скляних, кремнієвих та	Висока селективність та газопроникність, захист від теплоізолюючих та екрануючих впливів. Зміна скрученості решітки щодо поздовжньої осі призводить до зміни властивостей	Поперечні розміри (товщина, ширина) знаходяться в наноінтервалі, а довжина може бути як завгодно велика
3	Тривимірні (об'ємні)	Наночастки	Висока хімічна та каталітична активність (Використовуються як високоефективні каталізатори та реагенти)	Поперечні розміри (довжина, ширина та товщина) знаходяться в наноінтервалі

Рівномірний розподіл наночастинок у полімерній матриці та їх безпосередня взаємодія зі ланками полімерного ланцюга здійснюється використанням ультразвукового впливу, у результаті виходять наноструктуровані ПКМ з комплексом унікальних властивостей.

1.5 Висновки, мета та завдання кваліфікаційної магістерської роботи

1. Корпусні деталі визначають надійність роботи всієї машини загалом.

На їхню частку припадає до 70 % за масою від усіх деталей

сільськогосподарської техніки, близько 50 % з яких виходять з ладу через виникнення тріщин, що досягають довжини від 2 до 800 мм. Такі деталі, як правило, виготовляють із науну, алюмінію та сталі.

2. Використання для ремонту ПКМ на основі епоксидних смол позбавлене цих недоліків і характеризується простотою використання та високими характеристиками міцності.

3. Одним із перспективних способів поліпшення ПКМ є введення в полімерну матрицю нанорозмірних наповнювачів, рівномірний розподіл яких і безпосередня взаємодія зі ланками полімерного ланцюга призводить до підвищення фізико-механічних властивостей. Метою роботи є розробка технології загорення тріщин корпусних деталей сільськогосподарської техніки полімерними наноконпозиціями та рекомендацій щодо їх застосування.

Основними завданнями є дослідження властивостей наноструктурованих складів на основі епоксидних смол, а саме:

- теоретичні дослідження чинників, що впливають на величину адгезійної міцності;
- вивчення герметизуючої здатності;
- дослідження адгезійної міцності;
- дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості;
- дослідження впливу процесів старіння та вібраційних навантажень на герметизуючу здатність;
- вивчення стійкості до впливу робочих рідин;
- вивчення наноструктури полімерних складів;
- розробка технологічного процесу герметизації тріщин;
- визначення економічного ефекту від впровадження у виробництво технологічного процесу герметизації тріщин корпусних деталей.

РОЗДІЛ 2. Теоретичні основи факторів, що впливають на характеристики міцності полімерних композиційних матеріалів

2.1 Фактори, що впливають на процеси адгезії

При герметизації тріщин деталей машин найбільший вплив має адгезійна взаємодія полімерного матеріалу (адгезиву) з поверхнею деталі, що відновлюється (субстратом).

При утворенні міжфазного контакту на кордоні «субстрат-адгезив» у полімерних системах на адгезійну взаємодію впливає сукупність міжмолекулярних та міжатомних сил різної природи, що поділяються за величиною енергії на сильні та слабкі. На адгезійну взаємодію впливають і деформаційні властивості компонентів системи, які можуть не враховувати при більш коректній оцінці міжфазних зв'язків.

Якщо говорити про утворення міжфазного молекулярного контакту, то не слід забувати про конформашію макромолекул олігомерного адгезиву, що має низьку молекулярну масу, енергетично вигідну для адсорбції субстрату [81, 82]. У разі збільшення маси відбувається зниження поверхневої енергії, зростання напруги та в'язкості, що в результаті стає збільшенням схильності до деструкції високомолекулярних систем.

На адгезійну міцність також впливає структура субстрату та підготовка його поверхні. Існує кілька різновидів субстратів, таких як полімерні, металеві та керамічні, поверхні які поділяють на низько- та високоенергетичні, що відрізняються за здатністю змочуватися. Так полімерні матеріали мають низькоенергетичні поверхні, з вільною енергією не більше 100 мДж/м^2 , що свідчить про неповну змочуваність багатьма рідинами ($\theta > 0$), а поверхні металів, оксидів металів та кераміки відносять до високоенергетичних, з вільною енергією близько 500 мДж/м^2 і крайовим кутом змочування, рівним нулю [5]. Так у нашому випадку поверхнева енергія заліза, що знаходиться на

повітрі становить 800 мДж/м^2 , а при знаходженні в інертному середовищі – 2000 мДж/м^2 . Для алюмінію даний показник досягає 570 мДж/м^2 , а для епоксидного олігомеру – $42...46 \text{ мДж/м}^2$.

Внаслідок того, що крайові кути змочування поверхні сталі ($\theta = 47^\circ$) і ПКМ ($\theta = 63^\circ$) майже однакові, між ними виникає ефект підвищеної взаємодії.

При розгляді залежності адгезії від природи субстрату металевих поверхонь можна зробити висновок про зниження міцності органічних адгезивів до металевих субстратів, яка зменшується в ряду: мідь > вуглецева

сталь > легована сталь > алюміній > цинк > > олово > свинець. Тому при ремонті деталей машин із цих матеріалів слід враховувати відмінності у взаємодії з ПКМ.

Великий вплив має також стан поверхні деталі та способу її підготовки [88], яке характеризують підготовкою поверхні, ступенем її розвиненості або шорсткості, що призводить до збільшення адгезійної міцності за рахунок механічного зачеплення у разі їх розвиненості та хімічної однорідністю структури.

Підготовка поверхні залежить від якості її очищення, площі поверхні адгезії та спотворення кристалічних ґрат металу на поверхні. Ступінь підготовки поверхні багато в чому визначає величину поверхневої енергії та здатності змочуватися. Так механічна обробка поверхні деталі призводить до структурних змін поверхневих шарів та фізико-механічних властивостей.

Сутність впливу механічної обробки полягає в тому, що після її впливу відбувається випромінювання з оброблюваних поверхонь електронів з різною енергією, тому це явище отримало назву екзоелектронної емісії. Це явище триває $1,5...2,5$ год, а при додатковому нагріванні поверхні металу можлива його активація. Іншими словами, значне підвищення міцності адгезійних взаємодій досягається активацією поверхні металу механічною обробкою.

2.2 Система «субстрат-адгезив» та оцінка її адгезійної міцності

Інтерес до дослідження адгезійної міцності та питань адгезії виник у 40-х роках 20 століття [91]. В даний час існує кілька теорій адгезії: механічна [92, 93], адсорбційна [94], електрична [95] та дифузійна [96], питаннями яких займалися Дж. Хестра та Басін В.С., Мак-Ларен та Берлін А.А., Дерягін Б.В. та Кротова Н.А., Воюцький С.С. Проте, адсорбційна теорія, звана також адсорбційно-молекулярною чи молекулярною, має безперечну перевагу, оскільки молекулярних сил межі розділу «субстрат - адгезив» цілком достатньо досягнення високої адгезійної міцності. У зв'язку з цим дана теорія дає можливість підійти до вирішення проблеми управління величиною адгезійної міцності будь-якої системи [24, 97], у нашому випадку системи «метал - полімер». Згідно з цією теорією можна судити про дію міжмолекулярних сил при міжфазній взаємодії двох різнорідних матеріалів, що розглядають як енергію, так і роботу адгезії [98]. У зв'язку з цим роботу адгезії $W_{адг}$, Дж/м², необхідну для подолу одиниці поверхні двох фаз, перпендикулярно якій надають дію міжмолекулярні сили, виразимо через вільну поверхневу і міжфазну енергію з використанням рівняння Дюпре :

$$W_{адг} = \gamma_M + \gamma_P - \gamma_{MP} \quad (2.1)$$

де γ_M - вільна поверхнева енергія металу, Дж/м²;

γ_P - вільна поверхнева енергія полімеру, Дж/м²;

γ_{MP} - енергія межі розділу фаз металу та полімеру, Дж/м².

Таким чином, робота адгезії тим вище, чим вище значення вільної поверхневої енергії металу та полімеру і нижче енергія межі розділу їх фаз.

Великий інтерес надається співвідношенню поверхневих натягів металу та полімеру, а також змочування, при обговоренні ролі яких у процесі утворення адгезійної сполуки було встановлено, що змочування - найважливіший фактор, що визначає досконалість адгезійної сполуки. Так, на рисунку 2.1. представлено змочування металу полімером.

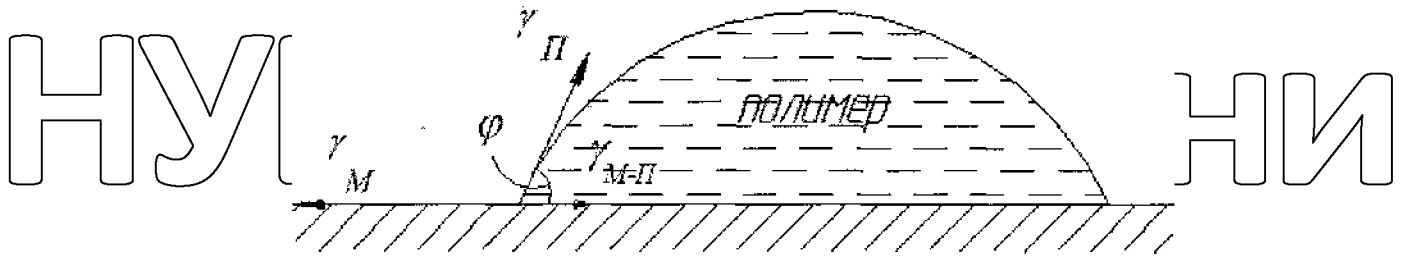


Рисунок 2.1 - Змочування металу полімером

Гудом і Джирифалко було отримано співвідношення, що пов'язує вільну та міжфазну енергію двох середовищ:

$$\gamma_{МП} = \gamma_M + \gamma_P 2\Phi \sqrt{\gamma_M \gamma_P} \quad (2.2)$$

де Φ - відношення оборотної роботи адгезії до геометричного середнього роботи когезії двох компонентів, що визначається згідно з виразом:

$$\Phi = \frac{4(V_M V_P)^{1/3}}{(V_M^{1/3} + V_P^{1/3})^2}, \quad (2.3)$$

де V_M, V_P - молекулярний об'єм відповідного матеріалу.

Тоді робота адгезії становитиме:

$$W_{адг} = 2\Phi \sqrt{\gamma_M \gamma_P}, \quad (2.4)$$

Відповідно, процес руйнування (деформування) визначається міжфазною взаємодією поверхонь різнорідних тіл, а також силами зчеплення, що діють між частинками всередині даного тіла. Таким чином, на підставі вищевикладеного, можна говорити про такі типи руйнування:

- адгезійна руйнація, що характеризується повним відшаровуванням полімеру від металу;
- когезійне руйнування, що характеризується руйнуванням полімеру, або по металу;
- змішане руйнування, що характеризується частковим руйнуванням по полімеру та металу.

Аналіз даних типів руйнування дозволяє зробити висновок у тому, що адгезійне руйнування найбільш очевидно характеризує власне адгезію.

Однак, робота, що витрачається на деформацію полімеру, і попередня руйнування системи залежить від когезійної міцності полімеру, а також від швидкості деформації та визначається релаксаційними процесами [104, 105].

Враховуючи розбіжності вчених у підході до обліку роботи, що витрачається на руйнування (деформування), а також механізмів, що протікають у цей момент, приймемо за допущення рівність роботи адгезії та когезії, необхідної для забезпечення необхідної розривної міцності.

Тоді при розгляді умов навантаження, що виникають при випробуванні адгезійних сполук за розробленою методикою, отримаємо:

$$W_{АДГ} = W_{ДЕФ} \quad (2.5)$$

де $W_{ДЕФ}$ - робота, що витрачається на деформацію полімеру, що передує руйнуванню системи, Дж/м².

У праці Кейбла [107] встановлено залежність між роботою руйнування, необхідної відділення полімеру від поверхні металу і механічними властивостями полімеру. Зважаючи на те, що при руйнуванні полімерного шару адгезійна складова в більшості випадків дорівнює когезійної, тоді приймемо припущення, що напруга розриву при розтягуванні полімеру дорівнює напрузі при відриві полімеру і позначимо через σ . Роботу адгезії ГРАДГ приймемо рівної роботі, що витрачається на деформацію полімеру $W_{ДЕФ}$, тоді залежність матиме вигляд:

$$W_{АДГ} = W_{ДЕФ} = \frac{b l \sigma^2}{E} \quad (2.6)$$

де b, l - ширина та довжина нанесеного шару полімеру, м (добуток b на l , позначимо через площу S , контакту полімеру з металом, м²);

σ - напруження при відриві полімеру, Па;

E - модуль пружності полімеру при відриві Па.

Для визначення роботи, витраченої на деформацію полімеру, розглянемо вплив площі контакту полімеру з металом, напруги при його

відриві та модуля пружності. Для розрахунків прийємо площу шару, що наноситься $S = (2,3) \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ при закладенні тріщин з найбільш часто зустрічаються з розмірами ($b = 0,001 \text{ м}$; $l = 0,02 \dots 0,08 \text{ м}$). Напруження при

відриві вихідного σ_1 і модифікованого про σ_2 ПКМ прийємо рівними

відповідно 20 і 30 МПа, модуль пружності E_1 і E_2 відповідно становитиме 400 і 500 МПа [66, 108]. З рис. 2.2 видно, що з руйнації системи «метал-полімер»

під час використання нанопоповнювачів знадобиться набагато більша робота проти звичайних складових.

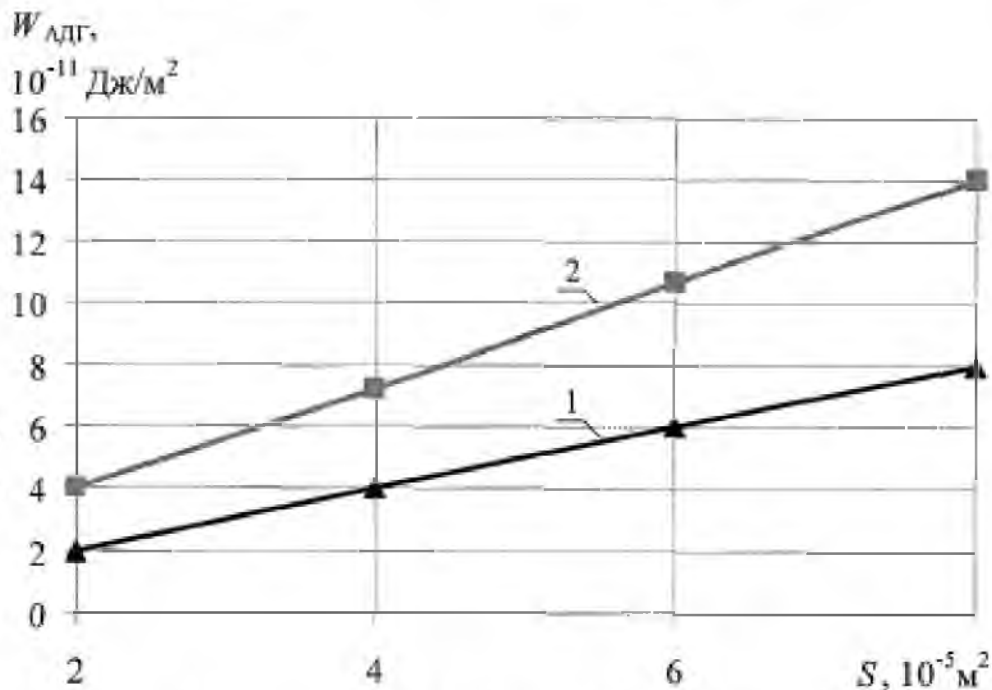


Рисунок 2.2 - Теоретичні залежності роботи адгезії $W_{адг}$ полімеру від площі його нанесеного шару S при модулі пружності ПКМ: 1 - $E = 400 \text{ МПа}$; 2 - $E = 500 \text{ МПа}$

Для теоретичного визначення напруги при відриві полімеру скористаємося умовою, що перехід матеріалу, що розтягується, від плосконапруженого до плоскодеформованого напруженого стану

відбувається внаслідок зміни товщини полімеру. Ця зміна характеризується

деформацією зсуву G , Па, полімеру, що призводить до руйнування [109, 110],

тому дотичне руйнування полімеру опишемо через формулу [111]:

$$G \approx \sigma \alpha \epsilon \quad (2.7)$$

де α - товщина нанесеного шару полімеру, м;

ε - відносне подовження товщини шару полімеру при розтягуванні, %.

Виразивши в формули (2.7) напруження розриву полімеру при його розтягуванні, отримаємо:

$$\sigma = \frac{G}{\alpha \varepsilon} \quad (2.8)$$

Підставивши вираз (2.8) в (2.6), отримаємо:

$$W_{ДФ\Phi} = \frac{SG\sigma}{E\alpha\varepsilon} \quad (2.9)$$

Відповідно рівнянню (2.5), отримаємо:

$$2\Phi\sqrt{\gamma_M\gamma_{II}} = \frac{SG\sigma}{E\alpha\varepsilon} \quad (2.10)$$

Тоді, з рівняння (2.10), визначимо σ .

$$\sigma = \frac{2\Phi\sqrt{\gamma_M\gamma_{II}} E\alpha\varepsilon}{SG} \quad (2.11)$$

Згідно з Цисманом Φ із виразу (2.11) залежить від природи сил взаємодії на межі розділу, а найбільше його значення дорівнює одиниці, тоді отримаємо:

$$\sigma = \frac{2\sqrt{\gamma_M\gamma_{II}} E\alpha\varepsilon}{SG} \quad (2.12)$$

У разі армування полімеру модуль пружності композиту E_K буде розраховуватися з урахуванням модулів пружності полімеру E_{II} і волокон E_B :

$$E_K = E_{II} V_B + E_{II} (1 - V_B) \quad (2.13)$$

де V_B - об'ємна частка волокон.

Тоді формула (2.12) виглядатиме так:

$$\sigma = \frac{2\sqrt{D_M \gamma_{\text{д}} (E_{\text{п}} V_{\text{п}} + E_{\text{п}} (1 - E_{\text{в}})) \alpha}{SG} \quad (2.14)$$

Аналіз цього виразу свідчить про залежність напруги розриву полімеру при розтягуванні від хімічного складу та фазової структури матеріалів, що входять до цієї сполуки, а також від кількості застосовуваного полімеру, залученого в зону деформації.

Для визначення напруги при відриві полімеру σ приймемо товщину нанесеного шару α , що дорівнює 0,002 м, а відносне подовження товщини шару полімеру ε - 20 %; модуль зсуву G - 200 МПа; поверхневу енергію для металів $\gamma_{\text{м}}$ - 500 мДж/м², а епоксидних полімерів $\gamma_{\text{п}}$ - 45 мДж/м². Значення b , l ,

E_1 і E_2 приймемо, як у наведеному вище розрахунку. Підставивши ці значення в формулу (2.12) отримаємо, що значення σ_1 для складу, з модулем пружності E_1 , при зміні площі досягає 4,8...24,0 МПа, а значення σ_2 при E_2 відповідно 6,0...30,0 МПа. Таким чином, робота адгезії залежить від модулів зсуву та

пружності ПКМ, від хімічного складу та фазової структури матеріалів, що входять до цієї сполуки. Значення напруги при відриві полімеру зростає зі зменшенням модуля зсуву та зі збільшенням модуля пружності ПКМ, а також з поверхневих енергій металу та полімеру.

2.3 Довговічність, як основа ресурсу полімерних матеріалів та фактори, що впливають на неї

В даний час, незважаючи на успіхи в розвитку методів підвищення витривалості матеріалів, кількість аварійних поломок, як і раніше, залишається значною через втомне явище. В результаті цього виникає руйнація, що є процесом, що розвивається у часі в локальних обсягах матеріалу і досягає граничного стану.

Таким чином, у разі пластичності матеріалу, перевищення певного рівня

напруги (сили Пайєраса-Набарро) приведе в рух дислокації, що накопичуються у непереборних для них перешкодах (включення, межі зерен та ін.), подальше скупчення яких стане наслідком нездатності до пластичного

деформування, т. е. подальше зростання напруг веде у цьому місці до

утворення мікротріщин. Виходячи з вищевикладеного, слід, що дефекти

будови та несплошності є концентраторами напруг, значення яких можуть істотно відрізнятися один від одного і тому вводиться таке поняття як

коефіцієнт інтенсивності напруги K_I , що залежить від довжини дефекту та

його гостроти, а індекс I показує, що коефіцієнт відноситься до випадку

тріщини/відриву. Тоді формула коефіцієнта інтенсивності напруги набуде

наступного вигляду:

$$K_I = 2\sqrt{l/r} \quad (2.15)$$

де l – довжина дефекту,

r – радіус закруглення у вершині дефекту

Згідно з роботою Ірвіна тріщина не зростає, якщо $K_I < K_{IC}$ і

поширюється (як статично, так і динамічно) у разі $K_I > K_{IC}$.

Тоді граничне співвідношення набуде вигляду:

$$K_I = K_{IC} \quad (2.16)$$

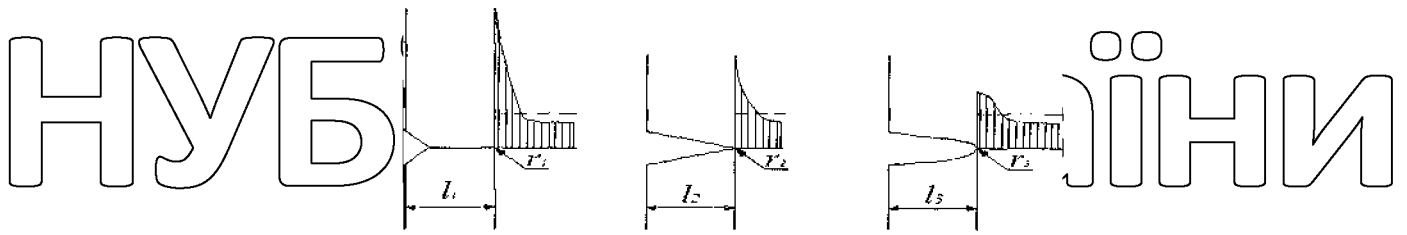
де K_{IC} – критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень.

При досягненні умови (2.16) рівновага стає нестійкою, тобто, тріщини

врівноважені по відношенню до малих змін її розмірів.

На коефіцієнт інтенсивності напруги крім внутрішніх дефектів також впливають і поверхневі, в тому числі надрізи різної довжини l і гостроти r , які

представлені на малюнку 2.3.



а) б) в)

Рисунок 2.3 - Концентратори напружень у гирлі дефекту (штрихові лінії $\delta_{сер} : l_1 > l_2 > l_3; r_1 < r_2 < r_3$): а - тріщина; б - гострий надріз; в - м'який надріз

Розмір r характеризує гостроту тріщини, тобто. чим менше це значення, тим гостріша тріщина, проте це значення не може бути меншим за 0,1 нм, тобто. менше, ніж діаметр атома, тому мінімальний радіус тріщин становить приблизно 10 нм.

Розвиток механіки руйнування призвів до висування різних критеріїв локальної руйнації, таких як: силові, енергетичні та деформаційні, що ґрунтуються на концепції А. Гріффітса. Сутність цієї концепції полягає у руйнуванні високоміцних матеріалів, обумовленому наявними у тілі тріщинами або тріщиноподібними дефектами. Розвиток дефектів і визначає весь процес руйнування, а поширення тріщини відбувається тоді, коли енергія, що вивільняється при цьому, достатня для забезпечення руху тріщини, тобто:

$$\frac{dU}{dl} = \frac{dW}{dl} \quad (2.17)$$

де U – пружна енергія;
 W – енергія, необхідна для руху тріщини;
 l – уапівдовжина тріщини.

Висловлюючи dU / dl через напруження, отримаємо при плоскій деформації:

$$\frac{dU}{dl} = \frac{\pi \sigma^2 l (1 - \mu^2)}{E} = G = 2\gamma, \quad (2.18)$$

де E – модуль нормальної пружності;

σ – критичне напруження, при якому тріщина поширюється;

μ – коефіцієнт Пуассона;

γ – дійсна поверхнева енергія

Згодом величина $dU / dl = G$ отримала назву швидкості вивільнення

пружної енергії або енергії руху тріщини, а енергія, необхідна для поширення

тріщини $dW / dl = R$ – опір зростанню тріщини.

Однак наявність тріщин не є показником повної втрати експлуатаційної придатності або довговічності, яка є однією з найважливіших характеристик і

необхідна при проектуванні ресурсу деталей машин, що працюють у важких

умовах. Тому зміни, що відбуваються в полімерних матеріалах, протягом часу

експлуатації досить складні та багатогранні.

Так як багаторазове застосування навантаження на полімерний матеріал

призводить до зміни його енергетичного балансу, то накопичена матеріалом

потенційна енергія отримує вираз через формулу:

$$U = \frac{1}{2} (\sigma^{\max} - \sigma^{\min}) \Delta E_{K.P.} F_{ж.ср.}, \quad (2.19)$$

де σ^{\max} – максимальна напруженість циклу;

σ^{\min} – мінімальна напруженість циклу;

$\Delta E_{K.P.}$ – накопичена частина деформації пружного наслідку (високоеластичної);

$F_{ж.ср.}$ – площа перерізу, що визначає пружну "жорстку" фазу структури матеріалу.

Потенційна енергія має перевищувати віртуальну роботу зовнішніх сил, тобто:

$$\frac{1}{2} (\sigma^{\max} - \sigma^{\min}) \Delta E_{K.P.} F_{ж.ср.} \geq (\sigma_0^{\max} - \sigma_0^{\min}) E_{B.P.} F, \quad (2.20)$$

де σ_0^{\max} – початкова максимальна напруга циклу;

σ_0^{\min} – початкова мінімальна напруга циклу;

$E_{в.п.}$ - деформація віброповзучості.

При описі аналізованих процесів з позицій тимчасової залежності міцності за основу взято молекулярно-кінетичну активаційну теорію, згідно з якою довговічність матеріалу t пов'язана з температурою і напругою, та

іменована в даний час формулою Журкова:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{(U_0 - \gamma \sigma)}{RT} \quad (2.21)$$

де τ_0 ~ величина, що має розмірність часу, що відповідає періоду теплових коливань атомів;

U_0 - енергія активації розриву зв'язків;

γ - елементарний активаційний об'єм;

σ - напруга в тілі, що виникає як реакція на прикладене навантаження;

R - універсальна газова постійна;

T - температура.

З рівняння (2.21) випливає, що вплив напруги призводить до зменшення ймовірності відновлення зв'язків, а сплески енергії теплового руху атомів та їх груп (телові флуктуації) - до розриву цих зв'язків, і у зв'язку з цим процес руйнування-відновлення стає нерівнозначним.

З вищевказаного можна дійти невтішного висновку, що рівняння Журкова знаходить пояснення зв'язку часу життя полімерного матеріалу до руйнування, температури та напруги. Так, тривала його робота призводить до

зниження міцності внаслідок втоми, яка визначається поступовим

накопиченням та збільшенням числа мікротріщин. Причому утворення кожної

мікротріщин пов'язане з поглинанням механічної енергії [121]. Оскільки під

час експлуатації полімерний матеріал піддається спільним нестационарним

тепловим і механічним навантаженням, тобто. виконується умова про $\sigma \neq$

$const$, $T \neq const$, то не можна розраховувати його довговічність, користуючись

формулою (2.21) у чистому вигляді. Однак, в певних методиках,

запропоновано вдосконалити цю формулу і звести залежність довговічності

від σ і T до більш загального функціонального виразу:

$$\tau(\sigma, T) = \tau_0(\sigma, T) \exp\left(\frac{U(\sigma, T) - \gamma(\sigma, T)\sigma}{RT}\right), \quad (2.22)$$

Довговічність полімерного матеріалу залежить також і від характеру розкриття тріщини, який при плосконапруженому стані і відсутності зміцнення матеріалу описується рівнянням:

$$\delta = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{K_{Ic}^2}{E\sigma_m}, \quad (2.23)$$

де σ_m - межа текучості.

Також необхідно відзначити, що вздовж напрямку орієнтації полімерний матеріал має високу міцність і низьку в напрямку, перпендикулярному орієнтації. Інакше кажучи, міцність орієнтованих полімерів визначається значеннями енергії руйнування всім напрямів, крім паралельних напрямку орієнтування, яке утруднено.

На довговічність полімерного матеріалу також впливає такий фактор, як старіння, що передбачає зміну фізико-механічних властивостей під впливом довкілля. Класифікацію процесів старіння представлено табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Класифікація процесів старіння полімерного матеріалу

№ п/п	Вид старіння	Активатор	Супутній агент
1	Теплове	Теплота	
2	Термоокислювальне	Теплота	Кисень
3	Світлове	Світло	Кисень
4	Активоване металами	Метал	Кисень
5	Втома	Механічне вплив	Кисень деформація +
6	Атмосферне	Озон	Розтягування
7	Радіаційне	Випромінювання високої енергії	Кисень

Кінетика процесу старіння пов'язана з термоокислювальною деструкцією, що протікає з незмінною швидкістю при заданій температурі. За умови сталості обсягу полімерного матеріалу, в якому протікає реакція, її швидкість V в залежності від концентрації активних частинок C у часі t

описується виразом:

$$V \equiv \frac{1}{2} (\sigma^{\max} - \sigma^{\min}) \Delta E_{K.P.} F_{\text{ок.сп}}, \quad (2.24)$$

Ця реакція протікає зі зменшенням активних частинок, тоді константа швидкості K реакції визначиться залежністю:

$$\frac{dC}{dt} = -KC, \quad (2.25)$$

де C - концентрація активних частинок на момент часу t .

Проінтегрувавши рівняння (2.25), визначимо константу швидкості

реакції, і отримаємо вираз:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -k \int_0^t dt, \quad (2.26)$$

Тоді:

$$\ln C_0 - \ln C = kt, \quad (2.27)$$

Кількість активних частинок, що не вступили в реакцію, C_t у певному обсязі полімерного матеріалу через час t старіння, згідно з отриманими виразами, визначиться з рівняння:

$$C_t = C_0 e^{-kt}, \quad (2.28)$$

де C_0 - кількість активних частинок у зразку полімерного матеріалу, певного обсягу до початку реакції.

Таким чином, на підставі отриманих залежностей можна зробити

висновок, що значення довговічності визначається видом полімерного матеріалу (смоли), умовами експлуатації та визначається експериментально.

2.4 Висновки

1. Адгезійна міцність залежить від модулів зсуву та пружності ПКМ, хімічного складу та фазової структури матеріалів, що входять до цієї сполуки, їх підготовки, ступеня розвиненості або шорсткості поверхні.

2. Значення напруги при відриві зростає із зменшенням модуля зсуву полімеру, зі збільшенням модуля пружності ПКМ та поверхневих енергій металу та полімеру.

3. У процесі експлуатації спостерігається погіршення механічних властивостей та зниження довговічності ПКМ через температурні флуктуації, процеси навантаження, старіння, вид смоли та інші фактори.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальна методика досліджень

Вивчивши стан пигання та теоретичні передумови, відповідно до поставлених завдань, були розроблені програма, загальна та приватні методики експериментальних досліджень.

Загальна програма експериментальних досліджень (додаток 3) повинна включати:

- розробку наноструктурованих ПКМ на основі епоксидних смол;
- вивчення герметизуючої здатності ПКМ;
- дослідження адгезійних властивостей ПКМ при впливі на них руйнівної напруги;
- вивчення деформаційних властивостей ПКМ;
- дослідження термомеханічних характеристик та теплостійкості ПКМ;
- дослідження впливу вібрацій на герметизуючу здатність ПКМ;
- вивчення впливу процесів старіння на герметизуючу здатність ПКМ;
- вивчення стійкості ПКМ до вливу робочих рідин;
- вивчення наноструктурних особливостей ПКМ;
- розробка оптимального технологічного процесу герметизації тріщин;
- визначити економічну ефективність впровадження запропонованої технології герметизації тріщин корпусних деталей у виробничих умовах.

3.2 Об'єкти експериментальних досліджень

Об'єктами експериментальних досліджень служили використовуваний у машинобудівних, моторних, компресорних, насосних заводах, заводах паливної апаратури, вагоноремонтних підприємств вітчизняний склад холодного затвердіння Полірем «Лікар» (далі - Полірем), що випускається ТОВ «Технобазис» (рис. 3.1 а), серед зарубіжних аналогів – Loctite 3472 A&B Metal Set 2 (далі – Loctite). Даний склад виробляється фірмою Loctite корпорації Henkel Group (Німеччина) і широко застосовується в автомобільній та аерокосмічній промисловості, машинобудуванні, а також у багатьох галузях

загальної індустрії (рис. 3.1 б).



Рисунок 3.1- Об'єкти експериментальних досліджень: а) - Полірем; б) - Loctite

Основою цих сумішей є модифіковані фізико - хімічним способом епоксидні смоли з використанням високодисперсних частинок металу. Вибір цих складів, як об'єктів досліджень, обумовлений їхньою здатністю полімеризуватися в широкому діапазоні температур і витримувати великі навантаження.

Так склад Полірем (комплект для холодного зварювання ТУ 2252-001-51 (049574-09) являє собою двокомпонентну металоолімерну композицію, призначену для ремонтно- відновлювальних робіт, таких як:

- герметизація пробоїн радіатора;
- закладання раковин, тріщин, пробоїн кузова машини;
- відновлення внутрішнього зірваного різьблення в блоці циліндрів;
- заповнення тріщин у блоці циліндрів;
- заробка отворів паливного бака;
- заробка пробоїн картера і т.д.

Полірем прайсдатний у різних агресивних середовищах, а також у моторній та трансмісійній оливі, дизельному паливі, бензині, етиленгліколі та воді.

Loctite являє собою рідкий сталенаповнений, двокомпонентний епоксидний склад, полімеризується при кімнатній температурі і призначений для:

- ремонту та відновлення зношених частин валів;
- корпусів, шпонкових канавок та фланців, пошкоджених частин труб;
- заливання тріщин;
- ремонту пластин із литої сталі;
- виготовлення основних ливарних форм;
- герметизації трубопроводу, що протікає;
- нанесення захисного покриття.

Як і більшість епоксидних складів, заснованих на смолах, даний продукт має відмінну хімістійкість до впливу води, розведених кислот, соляного розчину, бензину, різних мастил, проте його не рекомендується піддавати впливу хлорованих розчинників, метанолу та ацетону.

Слід зазначити, що склади можна навантажувати після повного затвердіння, час якого скорочується при їх нагріванні.

Порівняльні характеристики компонентів представлені у додатку 4.

Вибір Полірем і Loctite обумовлений простотою застосування, високими характеристиками міцності і тим, що технологія їх використання є малоопераційною. Відновлення деталей машин цими складами можна виконувати без підведення зовнішньої енергії та без застосування дорогого обладнання. Слід також враховувати і той факт, що вартість зарубіжної композиції у 3,3 рази перевищує вартість вітчизняного аналога.

У даній роботі наномодифікування Полірем і Loctite проводили з використанням наноструктурного гідроксиду алюмінію $Al(OH)_3$ (далі - беміт), концентрату колоїдного розчину нанорозмірних частинок срібла, званих

також AgVnoH-2 (далі - ННС), і вуглецевих нанотрубок, далі УН 3.3.

В отриманих наноконпозиціях дисперсною фазою служили нанорозмірні частинки, а полімерна матриця була дисперсною середовищем, іншими словами, наночастинки були мікрокапсульовані в полімерну оболонку.

Для експериментів використовувався беміт, що є порошком ультрадисперсного кристалічного гідроксиду окису алюмінію гама - γ -Al(OH)₃. Беміт складається з волокон, діаметром близько 10 нм, і довжиною - 50... 100 нм, яке щільність зазвичай становить 3,01...3,06 г/см³. До переваг беміту відносять високий ступінь дисперсності, стабільність, однорідність гранулометричного складу, чистоту (вміст основної речовини - 99,99 %) та хімічну активність основного компонента, які забезпечують значну питому поверхню сорбції, чим і привертають велику увагу фахівців у галузі високих технологій.

Виробництво ННС (ТУ 9392-003-44471019-2006) організовано ЗАТ "Концерн Наноіндустрія" методом біохімічного синтезу у вигляді колоїдних розчинів срібла наночастинок. Дані наночастинки стабільні у водній фазі і є прозорою рідиною бурого кольору, активною діючий компонент якого - нанорозмірні частинки срібла, розміром 5...30 нм. ННС стабілізовані молекулами поверхнево активної речовини, які концентрація в розчині становить 0,3 г/л.

Так введення ННС у структури традиційних матеріалів та покриттів, надає їм нові властивості, відмінні від властивостей вихідних структур та покращує їх фізико-механічні характеристики, що відкриває можливість для широкого впровадження цих нанонаповнювачів як у вітчизняне, так і закордонне промислове виробництво.

Для досліджень також використовувалися УНТ, вироблені фірмою Shenzhen Nanotech Port C., Ltd, і є протяжними циліндричними структурами діаметром 10...30 нм. Такі властивості нанотрубок, як нанометрова розмірність, відмінна електропровідність, висока міцність, хімічна стабільність дозволяють їх ефективно застосовувати при модифікуванні

полімерних композицій. Наявність вуглецевих волокон обсягом епоксидного шару також значно підвищує твердість, термічні і механічні властивості.

Застосування наповнювачів призводить до зміни молекулярно-масового розподілу та підвищення початкової швидкості полімеризації, зменшення індукційного періоду, що знаходить пояснення у зміні рухливості молекул.

В результаті експериментальних досліджень було визначено оптимальне співвідношення маси беміту, ННС та УНГ до складів.

Змішування складів Полірем і Loctite з нанонаповнювачами виробляли вручну, з подальшим впливом ультразвукового поля при частоті 22 КГц протягом 5 хвилин, так як цей вплив забезпечує рівномірне перемішування в об'ємі шару вихідного складу. Використання ультразвуку призводить до

руйнування агломерату частинок, що забезпечує ефективне ущільнення матеріалу на ранніх стадіях пресування, знижує міжчасткове та пристінне тертя. У результаті знижуються внутрішні напруги, підвищується адгезійна міцність, зміщується межа початку пластичної деформації в область високих тисків, забезпечується більш рівномірна щільність і підвищується мікротвердість.

Обробку композицій проводили на установці з ультразвуковим генератором ГУ-300-1 та магнітно-стружковим перетворювачем ПМС-15-2А (додаток 5). Вплив ультразвуку, що здійснюється на стадії приготування

композиції, призвів до підвищення довговічності та адгезійної міцності наномодифікованих композиційних матеріалів. Слід особливо відзначити, що фактор орієнтації нанонаповнювачів впливає на механізм посилення полімерної матриці, так як неупорядковане розташування цих наночастинок призводить до злипання їх в агломерати, зміни механізму руйнування композитів та погіршення всього комплексу властивостей.

3.3 Методика дослідження герметизуючої здатності полімерних композиційних матеріалів

Герметизуючу здатність досліджуваних НКМ визначали на установці вантажопоршневого типу МП-600 (рисунок 3.2). Ця установка складається з манометра, гідропресу, вимірювальної колонки, а також загерметизованого експериментального зразка, що встановлюється.

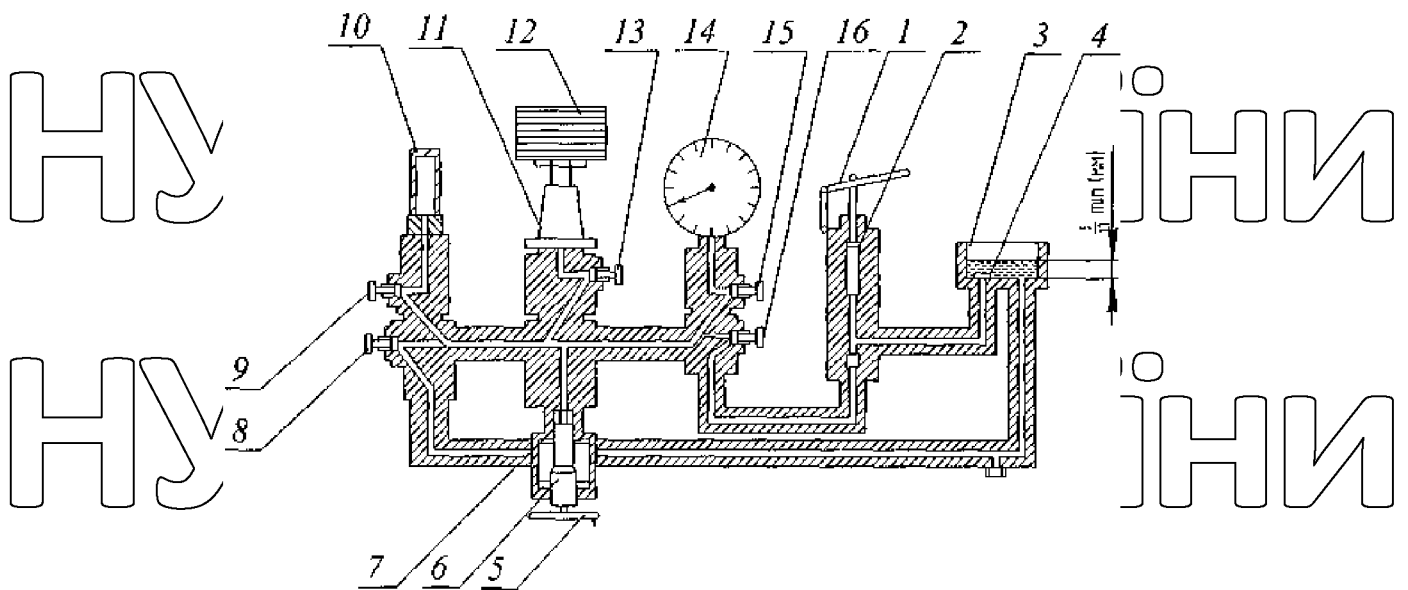


Рисунок 3.2 – Кінематична схема установки МП-600 для дослідження герметизуючої здатності НКМ: 1 – важіль; 2 – насос; 3 – бачок; 4 – фільтр; 5 – маховик; 6 – гвинт; 7, 11 – шток поршня; 8, 9, 13, 16 – запірні вентиля; 10 – експериментальний зразок; 12 – гирі; 14 – манометр; 15 – гвинт

Відключивши вимірювальну колонку перекриттям вентиля 13, встановлювали загерметизований експериментальний зразок 10 на місце манометра. Заповнювали моторним маслом бачок 3 до перевищення рівня над рівнем фільтра 4 на 5... 10 мм. Для видалення повітря з гідравлічної системи установки відвертали напрямну плунжера насоса 2, розшпінтовували та виймали важіль 1, послабляли гайку сальникового ущільнення плунжера і виймали плунжер. Потім заливали масло в отвір гайки сальникового ущільнення, встановлювали плунжер на місце, прокачували систему до

вигідення повітря маслом, підтягували гайку сальникового ущільнення, вставляли важіль 3 віссю і зашплінтовували.

Закривши вентиль 8 і відкривши вентилі 15 і 16, обертанням маховика 5 проти годинникової стрілки виводили гвинт 6 крайнє положення і ручним насосом 2 з внутрішніх порожнин установки вигідняли все повітря і створювали тиск в системі не більше 5 МПа. Після чого, закривши вентиль 16, обертанням маховика 5 за годинниковою стрілкою поршнем 7 створювали тиск у системі до пробою ПЧМ, нанесеного на тріщину експериментального зразка. Максимальний тиск преса, створюваний на установці, дорівнював 60 МПа.

Для отримання об'єктивних даних про досліджувані склади їх герметизуючу здатність визначали на експериментальних зразках з сірого чавуну СЧ 18 (далі - чавун), алюмінію марки АЛ2 (далі - алюміній) і сталі 45 (далі - сталь) - одних з основних матеріалів, що застосовуються виготовлення корпусних деталей сільськогосподарської техніки. Поверхні цих деталей перед нанесенням ремонтних складів попередньо очищали механічно і знежирювали ацетоном.

Експериментальні зразки являли собою нерозгорнуті до кінця порожнисті циліндри довжиною 100 мм, зовнішнім та внутрішнім діаметром 30 та 20 мм та товщиною стінки відповідно 5 мм. Зразки виготовлялися на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1В62Г, а за допомогою спеціалізованого фрезерного верстата моделі СФ676 на зразках виконувалися проточки, що імітують тріщини, з шириною 0,2, 0,5, 1,0 і 1,5 мм, і довжиною 10, 30 та 50 мм. Для цього використовували фрези 40 x 0,20 Р6М5, 40 x 0,5 Р6М5, 80 x ід Р6М5 та 100 x Д5 Р6М5. Загальний вигляд експериментальних зразків представлений рисунку 3.4.

З метою визначення впливу підготовки поверхні на герметизуючу здатність досліджуваних ПЧМ поверхні експериментальних зразків, перед нанесенням ремонтних складів також очищали механічно, промивали

розчином синтетичного миючого засобу МС-37 або наносили на них шар моторної оливи.

3.4 Методика дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості ПКМ

Дослідження деформаційних властивостей, термомеханічних характеристик та теплостійкості ПКМ проводили на модернізованому твердомірі типу ТП, кінематична схема якого представлені на рисунку 3.3.

Твердомір, забезпечений циліндричним індентором 1, індикаторною головкою 9, ванною під оливу 2, системою нагрівання та регулювання температури з електроконтактним термометром 12.

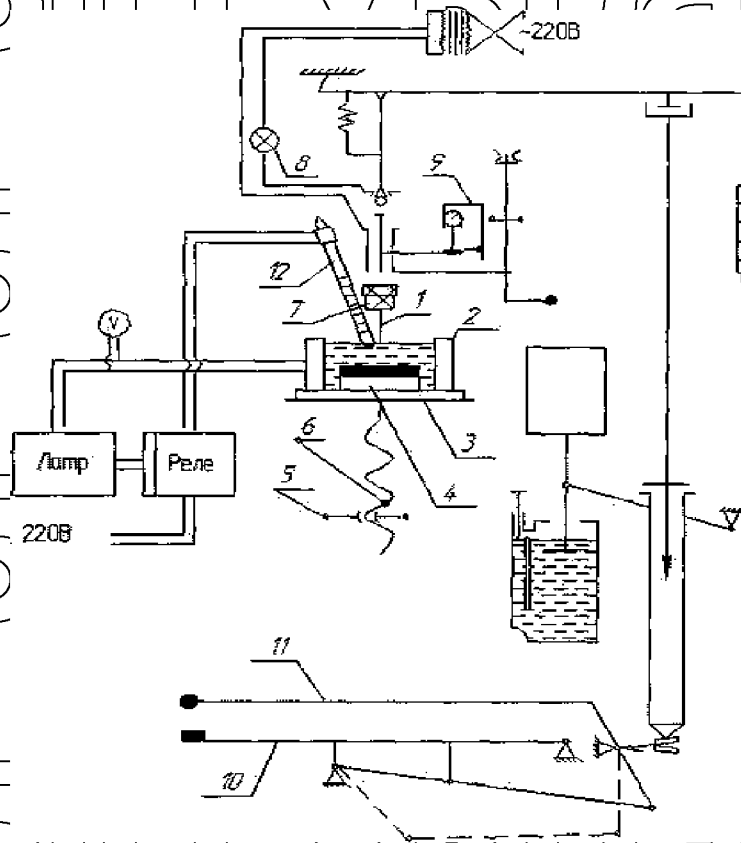


Рисунок 3.3 – Кінематична схема модернізованого твердоміра типу ТП:
1 – індентор; 2 – ванна; 3 – стіл; 4 – зразок; 5 – маховик; 6 – гвинт; 7 – шпindel; 8 – лампочка; 9 – індикаторна головка; 10 – педаль; 11 – рукоятка; 12 – електроконтактний термометр; 13 – вантажі

З метою дослідження деформаційних властивостей використовувались сталеві циліндричні диски діаметром 30 і висотою 5 мм, з нанесеними на них

покриттями з Полірем і Loctite, а також наномодифікацій на їх основі, товщиною рівною 200, 500, 1000 і 1500 мкм (рисунок 3.13). Для отримання відповідної товщини покриття застосовували набір металевих пластин, між якими рівномірно наносився шар досліджуваних складів, зі зміною часу витримки від 1 до 36 годин при кімнатній температурі.

Термообробку покриттів досліджуваних складів здійснювали протягом 2 годин у робочій камері сушильно-стерилізаційної шафи ШСС-80п (рисунок 3.4), в діапазоні автоматично підтримуваних температури від $+50^{\circ}\text{C}$ до $+160^{\circ}\text{C}$. Похибка стабілізації температури в опорній точці робочої камери шафи не перевищує 5°C .

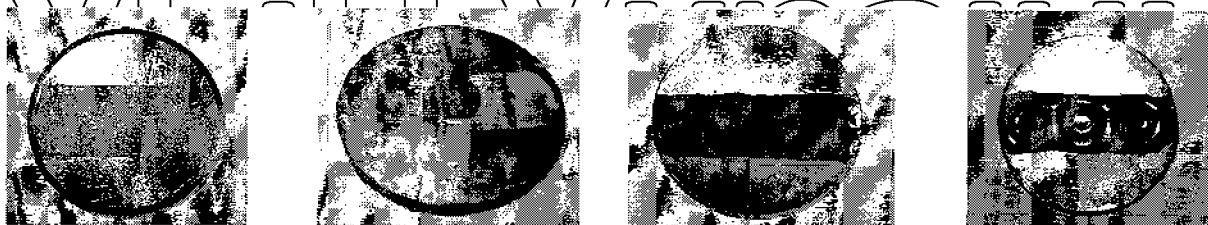


Рисунок 3.4 - Загальний вигляд сталевих циліндричних дисків, з нанесеними на них ПКМ. **а, б** - Полірем до і після застосування навантаження; **в, г** - Loctite до та після застосування навантаження.

Теплостійкість зразків визначали зануренням у ванну, наповнену моторною оливою, яка встановлювалася на опорному столі 3. За допомогою латра проводили термостатування з певною температурою протягом 15 хвилин.

При завершенні даного процесу за допомогою маховика 5 і гвинта 6 стіл з масляною ванною піднімали до дотику зразка досліджуваного 4 з індентором 1, закріпленому в шпінделі 7. Момент дотику визначали по загорянню сигнальної лампочки 8.

За допомогою рукоятки 11 зводили механізм вантажного приводу, натискали на важіль спуску 10 і секундоміром відраховували час дії навантаження. Товщину покриття до навантаження 1 в момент зняття навантаження визначали індикаторною голівкою МП-1М з ціною поділу

0,001 мм, змонтованої на станині приладу і спирається на важіль, з'єднаний зі шпинделем 7, за допомогою вантажів 13.

На рисунку 3.5 представлено схему деформування зразка циліндричним індентором.

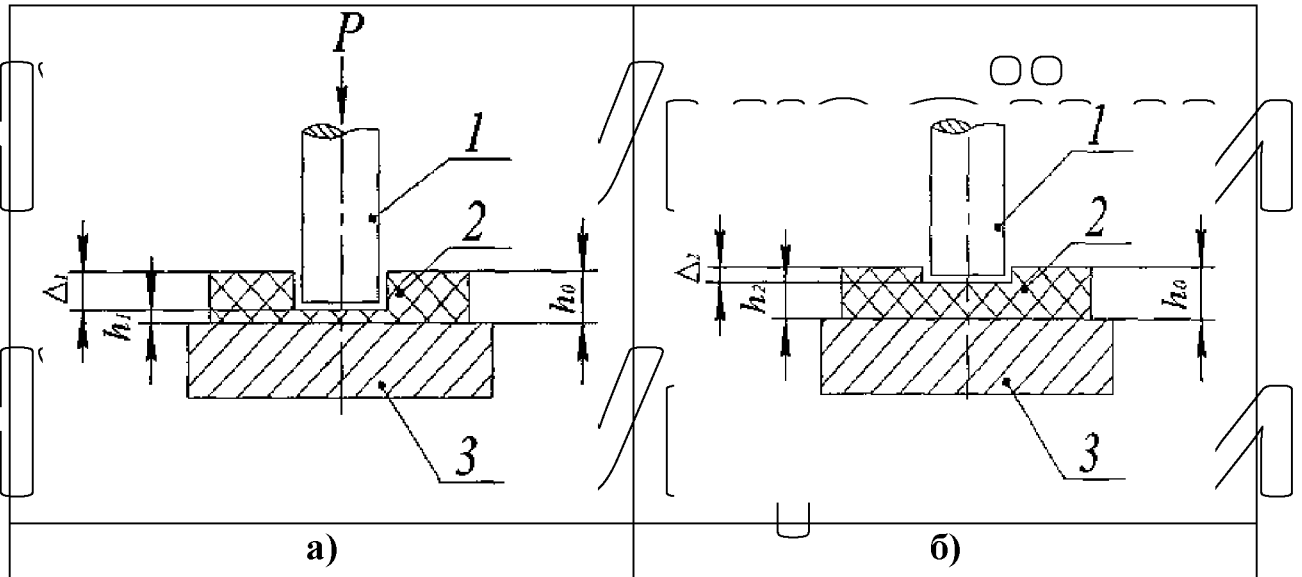


Рисунок 3.5 - Схема заміру деформування ПКМ при дослідженні термомеханічних характеристик в момент дії навантаження (а) та після його зняття (б): 1- індентор; 2 - ПКМ; 3 - підкладка

Загальну деформацію можна обчислити за наступною формулою:

$$\Delta_0 = h_0 - h_1 \quad (3.1)$$

де h_0 та h_1 - товщина полімерного композиційного покриття до та після навантаження, мкм.

Залишкова (незворотня) деформація визначається за формулою:

$$\Delta_1 = h_0 - h_2 \quad (3.2)$$

де h_2 - товщина полімерного композиційного покриття після зняття навантаження, мм.

Вискоеластична (оборотна) деформація визначається за формулою:

$$\Delta_2 = h_2 - h_1 \quad (3.3)$$

У зв'язку з тим, що корпусні деталі працюють в умовах температур, що змінюються, була поставлена задача визначити працездатний стан досліджуваних ПКМ по термомеханічним кривим, що представляє графіки в

координатах деформація - температура. Значення деформацій змінювали впливом постійної напруги.

Здатність досліджуваних складів відновлювати початкові розміри після зняття навантаження оцінювали коефіцієнтом відновлюваності, %:

$$K_{gid} = \frac{h_2 - h_1}{h_0 - h_1} = \frac{\Delta_2}{\Delta_0} \cdot 100 \quad (3.4)$$

Термомеханічні характеристики досліджуваних ПКМ визначали тиском, рівним 10 МПа, який створював на них циліндричний індентор діаметром 10 мм у температурному діапазоні від +20 до +160 °С. Час витримки зразків під навантаженням за певної температури становило 60 с

З метою визначення пружних властивостей ПКМ проводили дослідження модуля пружності, виходячи з глибини занурення кульки індентора. Для цього використали формулу Герца:

$$P = 0,5d^2 E = 0,795 \frac{P}{\Delta^{3/2} d^{1/2}} \quad (3.5)$$

де P - навантаження на кульку, Н;

Δ - глибина занурення кульки в полімерне покриття, мм;

d - діаметр кульки, мм.

Визначення модуля пружності ПКМ: Полірем і Loctite, а також нанокомпозицій на їх основі з товщиною покриття, що дорівнює 200 мкм, проводили з використанням кульки індентора діаметром 10 мм при кімнатній температурі. Навантаження на кульку визначали за формулою:

$$P = 0,5d^2 \quad (3.6)$$

3.5 Обробка результатів експериментальних досліджень, визначення повторності та помилок дослідів

Результати експериментальних досліджень оброблялися відповідно до рекомендацій методик.

Так розрахунок середнього арифметичного значення проводили за
окремими результатами дослідів: x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.7)$$

де \bar{x} – середнє значення вимірювань у досліді;

x_i – значення i -го вимірювання;

n – кількість вимірів.

Похибка окремих вимірювань визначається за густупною формулою:

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}, \quad (3.8)$$

Середнє квадратичне відхилення визначається за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (3.9)$$

Повторність дослідів визначалась на підставі ГОСТ 17510-79
відповідно до залежності:

$$\frac{\varepsilon_\alpha}{\nu} = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}}, \quad (3.10)$$

де ε_α – відносна похибка;

ν – коефіцієнт варіації;

t_α -- коефіцієнт Стюдента;

n – повторність випробувань;

Довірчу ймовірність приймали рівною $\alpha = 0,95$, а точність
експериментальних досліджень оцінювали згідно з методичними
рекомендаціями.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1 Результати досліджень та аналіз герметизуючої здатності полімерних композиційних матеріалів

На підставі результатів досліджень герметизуючої здатності ПКМ та наномодифікацій на їх основі тиск (розгерметизації) експериментальних зразків залежить від:

- часу полімеризації (затвердіння) складів;
- Матеріалу корпусної деталі;
- Розмірів тріщини (довжини, ширини) в деталі;
- застосовуваних ремонтних складів;
- температури, при якій здійснюється нанесення та витримка складів;
- підготовки поверхні деталі та ін.

З метою визначення розмірів тріщини, при якій досягаються максимальні значення герметизуючої здатності складів, випробування проводилися спочатку на зразках, що мають проточку, що імітує тріщину на початковій стадії її розвитку, довжиною 10 мм і шириною 0,2, 0,5, 1,0 і 1,5 мм.

Дослідження показали, що герметичність деталі залежить від її матеріалу, і від ширини тріщини (рисунок 4.1). Так, при її ширині, що дорівнює 0,2 мм, герметизуюча здатність складів Полірем і Loctite на зразках з алюмінію склали відповідно 12,3 та 8,2 МПа, на зразках з чавуну - 18,4 та 10,9 МПа та на зразках з сталі - 20,0 та 25,3 МПа. При збільшенні ширини тріщини до 1,0 мм спостерігалася впевнена тенденція підвищення значень герметизуючої здатності полів і Loctite. Так на зразках з алюмінію значення для вітчизняного та зарубіжного складів досягли відповідно 21,2 та 12,6 МПа, з чавуну - 25,3 та 14,0 МПа та сталі - 32,8 та 44,3 МПа. Подальше збільшення ширини тріщини до 1,5 мм призвело до зниження герметизуючої здатності композицій. Так, для зразків з алюмінію ці значення при застосуванні Полірем та Loctite досягли 20,1 та 9,6 МПа, для зразків із чавуну - 24,5 та 12,2 МПа та сталі - 31,6 та 42,0 %. Таким чином, збільшення ширини тріщини з 1,0 до 1,5 мм призвело до зниження герметичності зразків з алюмінію для композицій

відповідно на 5,5 % та 31,3 %, зразків із чавуну – на 3,3 % та 14,8 % та сталі - на 3,8% та 5,5%.

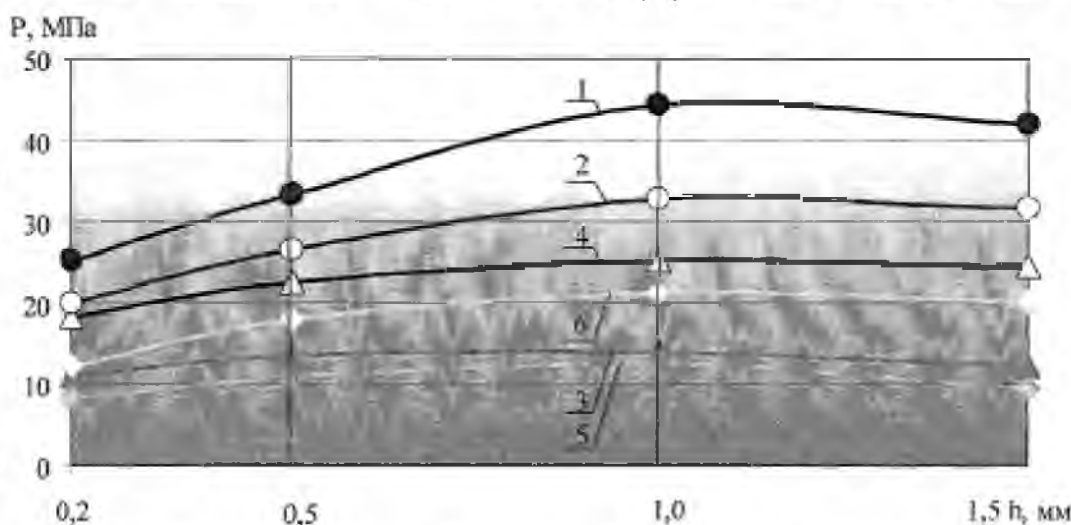


Рисунок 4.1 - Залежність значень герметизуючої здатності (P) складів від ширини тріщини (h) в експериментальних зразках з довжиною тріщини, що дорівнює 10 мм: 1,3,5 і 2,4,6 - відповідно Loctite і Полірем на зразках з сталі, чавуну та алюмінію

Підвищення герметизуючої здатності Полірем і Loctite при збільшенні ширини тріщини з 0,2 до 1,0 мм пов'язано з їх можливістю повністю заповнювати тріщину по всій її глибині, що збільшує площу контакту і складову адгезійну між складом і поверхнею тріщини. Подальше збільшення ширини тріщини призводить до збільшення площі контакту складу з герметизованим середовищем, що має певний робочий тиск. В результаті, для руйнування структури складу, потрібно набагато менший тиск з боку середовища, що герметизується, що і сприяє зниженню герметичності.

Результати експериментальних досліджень дозволяють зробити висновок, що найбільше значення герметизуючої здатності отримано Loctite і становить 44,3 МПа на сталевих зразках при ширині тріщини, що дорівнює 1,0 мм. Одержане значення вище за аналогічний показник при використанні складу Полірем на 35,1 %. При герметизації складом Loctite зразків з алюмінію та чавуну значення герметичності досягають 12,6 та 14,0 МПа.

Дані значення нижче аналогічних показників при герметизації цих зразків вітнизняним складом відповідно на 40,6% і 44,7%. Експериментальні дані підтверджують рекомендацію заводу-виробника щодо кращого використання складу Loctite для герметизації тріщин у сталевих деталях.

Герметизуюча здатність Полірем при закладенні тріщин в алюмінієвих і чавунних зразках досягає відповідно 21,2 і 25,3 МПа, що дає можливість усунути вказаний вище дефект в деталях з цих матеріалів.

Подальші випробування визначення впливу довжини тріщини на тиск розгерметизації корпусних деталей проводилися на зразках з шириною тріщини, що дорівнює 1,0 мм і її довжиною - 10, 30 і 50 мм. Цим, що з даної ширини отримані максимальні значення герметизуючої здатності досліджуваних складів.

Дослідженнями встановлено (рисунок 4.2), що зі збільшенням довжини тріщини з 10 до 30 мм герметизуюча здатність складів Полірем і Loctite знижується. Так, для зразків з алюмінію, це зниження складо відповідно 24,1 та 42,9%, для зразків із чавуну - 23,3 та 33,6%, для зразків із сталі - 21,6 і 24,8%.

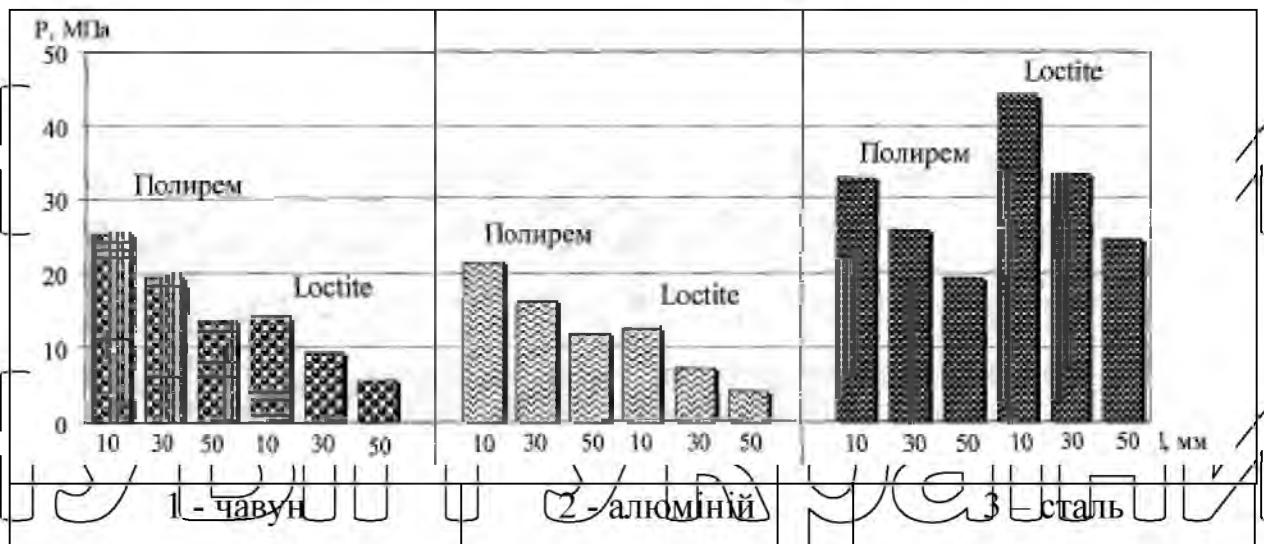


Рисунок 4.2 - Вплив довжини тріщини (1) на герметизуючу здатність (P) складів Полірем та Loctite

Збільшення довжини тріщини з 10 до 50 мм призвело до більш значного зменшення значень герметичності зразків з алюмінію при використанні

Полірем та Loctite відповідно до 11,8 та 4,2 МПа, з чавуну – до 13,4 та 5,6 МПа та зі сталі – до 19,2 та 24,5 МПа.

Таким чином, для зароблення тріщин у сталевих корпусних деталях, що зазнають сильних навантажень, рекомендується використовувати Loctite, менш навантажених - Полірем.

Зі збільшенням ширини тріщини з 02 до 15 мм спостерігається збільшення значень герметизуючої здатності складів до 10 мм. Подальше збільшення ширини та довжини тріщини призводить до зниження герметизуючої здатності Полірем та Loctite.

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що при збільшенні ширини тріщини з 02 до 15 мм при використанні ремонтних складів відбувається зменшення герметизуючої здатності. При використанні Полірем та Loctite її зниження на зразках з алюмінію становить відповідно 38,8 % та 14,6 %, з чавуну – на 24,9 % та 10,7 % та зі сталі – на 36,7 % та 39,8 % .

При збільшенні довжини тріщини з 10 до 50 мм зниження герметизуючої здатності цих складів для вищезгаданих матеріалів зразків відбувається відповідно на 44,3 % і 66,7 %, на 47,0 % та 60,0 %, на 41,5 % та 44,7%.

З метою виявлення впливу розмірів тріщини на значення герметизуючої здатності, використовувався пакет статистичного аналізу та графічного висновку Statistica 6. Дана програма дозволила визначити вплив розмірів довжини та ширини тріщини на досліджуваний параметр шляхом проектування графіків на тривимірній поверхні.

В результаті статистичної обробки було побудовано графік залежності герметизуючої здатності (P) сумішею від довжини (l) та ширини (h) тріщини (рисунк 4.2), що характеризується наступним рівнянням регресії:

$$P = f(l, h) = 28,1796 - 0,1937 \cdot l - 4,8733 \cdot h \quad (4.1)$$

За величиною та знаком коефіцієнтів даного рівняння можна оцінити вплив кожного фактора на значення герметизуючої здатності. Зі статистичного аналізу випливає, що найбільш значущим фактором у моделі є ширина тріщини.

Таким чином, герметизуюча здатність ПКМ більшою мірою знижується при збільшенні ширини тріщини, меншою - її довжини. Усіченість поверхні графіка свідчить про критичні значення герметичності деталей, довжина і ширина тріщини яких дорівнює **85 і 1,8 мм**, відповідно. Подальше збільшення розмірів тріщини не забезпечує герметичність системи без використання додаткових засобів армування, таких як склошари або металева пластина.

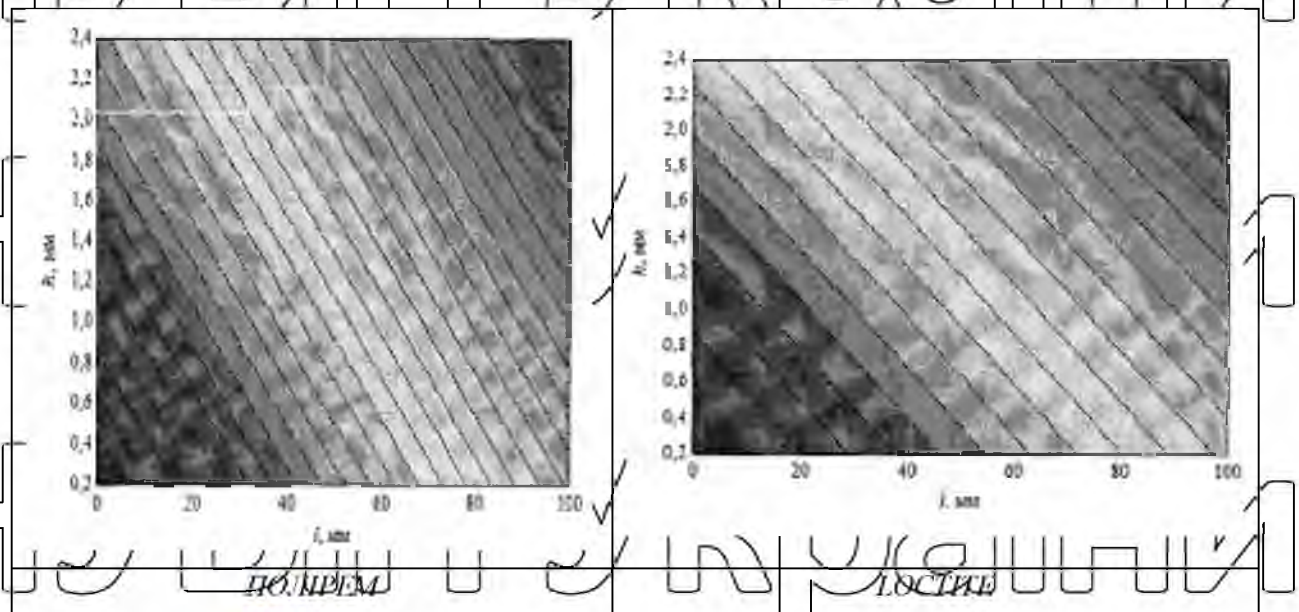


Рисунок 4.2 - Залежність герметизуючої здатності (P) ПКМ від довжини (l) і ширини (h) тріщини на експериментальних зразках із чавуну, представлена просвітя графіка на площину «ширина - довжина тріщини»

Графік залежності герметизуючої здатності (P) екаду Loctite при закладенні тріщин на експериментальних зразках з чавуну також характеризується зниженням її значень зі збільшенням розмірів тріщини (рисунок 4.2), а її поверхня описується рівнянням регресії:

$$P = f(l, h) = 16,135 - 0,117l - 3,602h, \quad (4.2)$$

Усічення поверхні графіка при довжині тріщини, що дорівнює 64 мм та її ширині 1,2 мм, свідчить про критичні значення герметизуючої здатності ПКМ, що також вимагає використання додаткових засобів армування при закладенні тріщин.

Графіки залежностей герметизуючої здатності ПКМ - Полірем та Loctite, для експериментальних зразків з алюмінію, представлені у **додатку 3**.

Зміна герметизуючої здатності Полірем описується рівнянням:

$$P = f(l, h) = 22,160 - 0,165l - 3,672h, \quad (4.3)$$

а Loctite:

$$P = f(l, h) = 13,134 - 0,09l - 3,271h, \quad (4.4)$$

Згідно з отриманими результатами, значення герметизуючої здатності закордонного складу поступаються значенням вітчизняного аналога. Так критичні значення досліджуваного параметра Loctite настають вже при герметизації ним тріщини, шириною 1,3 мм і довжиною 55 мм, в той час як використання Полірем, забезпечує його застосування при великих розмірах тріщини.

Полірем на зразках зі сталі може зберігати свою герметичність при ширині тріщини до 2,3 мм та довжині до 95 мм, а Loctite - відповідно до 2,1 мм та 97 мм (додаток 3).

Зміна герметизуючої здатності Полірем може бути описана рівнянням:

$$P = f(l, h) = 22,160 - 0,165l - 3,672h \quad (4.5)$$

а для Loctite:

$$P = f(l, h) = 13,134 - 0,09 \cdot l - 3,271 \cdot h, \quad (4.5)$$

Аналізуючи рівняння, можна дійти невтішного висновку, що значення герметизуючої здатності ПКМ залежать переважно від ширини тріщини, ніж від довжини.

Для забезпечення підвищених властивостей міцності герметизованої ділянки тріщини використовувалася склотканина марки Е-3-200-117, яку наклали двома способами. При першому способі її фіксували на шар ПКМ, з перекриттям тріщини на 20...25 мм, притискали шпателем і наносили на неї ще один шар ПКМ. Після затвердіння, визначали значення герметичності зразків із чавуну, алюмінію та сталі. При другому, після нанесення першого шару склотканини та ПКМ фіксували на ньому другу стрічку тканини, перекриваючи першу на 10...15 мм, і притискали шпателем. Потім наносили третій шар ремонтного складу на склотканину і після затвердіння, перевіряли

герметичність зразків. Дослідження проводили на зразках із довжиною тріщини 10 мм та шириною 1,0 мм.

Дослідження показали (рисунок 4.5), що при використанні одного шару склотканини герметизуюча здатність для чавуну, алюмінію та сталі збільшилася порівняно зі способом герметизації без склотканини. Так, для вітчизняного ПКМ це збільшення досягло відповідно 18,7, 23,4, 26,1%, а закордонного аналога значення зросли відповідно на 20,9, 22,5, 24,3%.

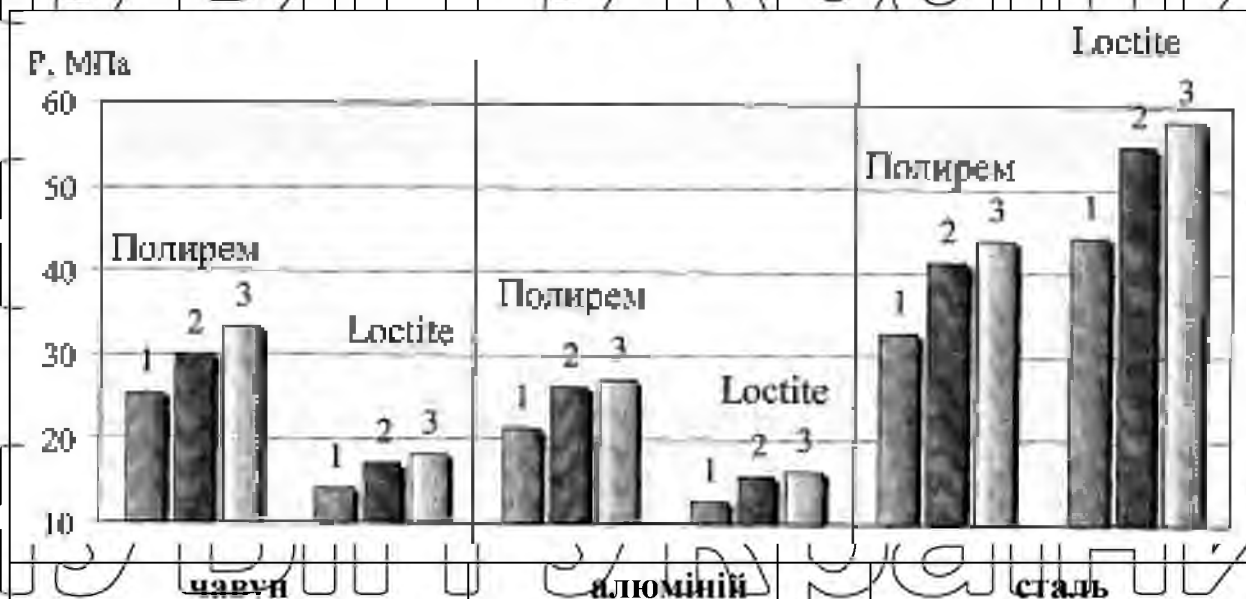


Рисунок 4.5 - Вплив кількості шарів армованого волокна на зміну герметизуючої здатності (P) ПКМ: Полірем та Loctite, нанесених на зразки з чавуну, сталі та алюмінію: 1 – немає шару; 2 – один шар; 3 – два шари

Нанесення другого шару склотканини призвело до збільшення значень герметизуючої здатності порівняно зі способом герметизації без склотканини.

У зразків із чавуну, загерметизованих Поліром та Loctite, це збільшення склало відповідно до 31,1 та 29,5 %, зразків з алюмінію – до 27,2 та 28,5% та сталі – до 33,4 та 30,9 %.

Результати досліджень дозволяють судити про збільшення значень герметизуючої здатності при використанні одного шару склотканини для вітчизняного складу на 18,7...26,1%, а для закордонного аналога - на 20,9...24,3%. При нанесенні другого шару ці значення збільшуються відповідно до 27,2...33,4% і 28,5...30,9%, залежно від матеріалу експериментального зразка.

3 метою визначення впливу нанонаповнювачів на вихідні склади, використовувалися зразки з алюмінію, чавуну та сталі з шириною тріщини 1,0 мм та довжиною 10 мм.

Концентрацію беміту змінювали від 2 до 14% (рис. 4.6).

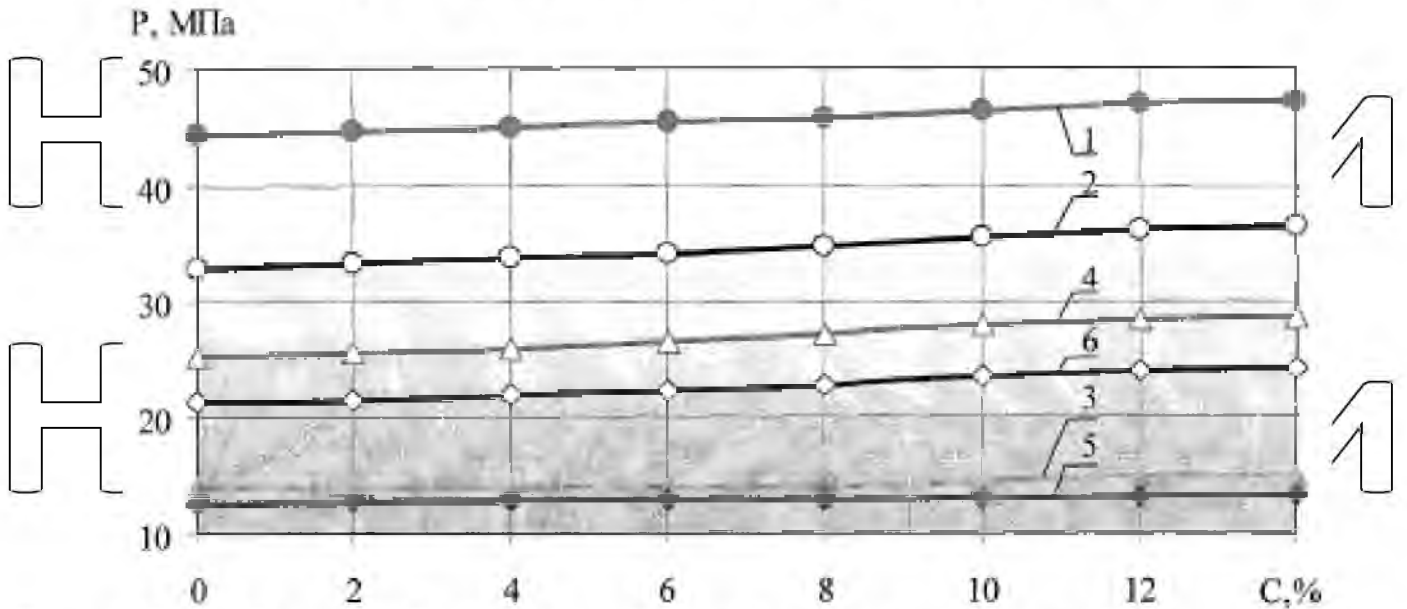


Рисунок 4.6 Залежності герметизуючої здатності (P) складів від концентрації (C) беміту: 1,3,5 та 2,4,6 - відповідно Лосіте та Полірем на зразках зі сталі, чавуну та алюмінію

Дослідження показали, що при масовій частці беміту, що дорівнює 11% у Лосіте, значення герметизуючої здатності для зразків із сталі досягли максимального значення, а при подальшому збільшенні концентрації беміту відбувається незначне її збільшення з подальшою стабілізацією. При герметизації зразків із чавуну та алюмінію найбільш оптимальна концентрація беміту склала відповідно 9 та 8 %.

При структурванні Полірем оптимальна концентрація беміту склала 12% для зразків із сталі, а для зразків із чавуну та алюмінію - 10% (додаток Ж).

З метою визначення відсоткового вмісту ННС та УНТ у досліджуваних складах також проводилися експериментальні дослідження (рисунок 4.7, 4.8). ПКМ, наноструктуровані цими наповнювачами, досягли максимальних значень при концентрації, що дорівнює 1% (Додаток 4. Герметизуюча

здатність Полірем, наповненого бемітом, ННС та УНТ на зразках із чавуну склали відповідно 26,9, 33,6 та 38,5 МПа, що на 6,3, 32,8 та 52,2 % вище значень герметизуючої здатності вихідного варіанту. При наповненні закордонного аналога вищевказаними наноаповнювачами були отримані значення герметизуючої здатності, які склали - 14,4, 16,1 та 17,8 МПа, що перевищує значення вихідного варіанту на 2,9, 15,0 та 27,1%.

4.2 Висновки.

1. Час затвердіння композицій скорочується при їх нагріванні та дії наноаповнювачів. Так, при збільшенні температури до +100 °С це зниження досягає 74,2 та 68,8 % і становить відповідно 3,1 та 3,9 год, а у разі наномодифікування Полірем та Loctite – відповідно до 8,3 та 12,5 %.

2. Підготовка поверхні зразків значно впливає на їх герметичність. Механічна очистка поверхні та знежирення її ацетоном збільшує герметизуючу здатність складів на 9,4...66,9 % порівняно з неочищеною поверхнею.

3. Використання додаткових засобів армування (скловолокна) та наноаповнювачів збільшує герметизуючу здатність. Застосування одного шару скловолокна збільшує герметичність до 261%, а двох - до 334%.

Наномодифікування збільшує герметизуючу здатність до 78,0% і знижує час затвердіння до 20,0%. Максимальні значення набули з використанням УНТ та ННС.

4. Збільшення температури призводить до зниження герметизуючої здатності складів та зміни деформаційних властивостей. Так, при її підвищенні загальні та залишкові деформації композицій зростають, а високоеластичні знижуються. Застосування наноаповнювачів збільшує високоеластичні деформації нанокомпозицій до 444% і знижує залишкові до 232%.

5. Збільшення температури до +100 °С призводить до зниження коефіцієнта відновлюваності Полірем та Loctite відповідно до 10,1 та 6,6 %.

Коефіцієнт відновлюваності вітчизняної нанокомпозиції збільшується на

11,1...15,1%, а зарубіжної - на 8,1...13,4%. Нанонаповнення УНТ та ННС збільшує теплостійкість композицій.

6. Термообробка наноконструкцій не істотно впливає на деформаційні властивості, т.к. їх зміна становить 1,1...6,6%, тому немає потреби у додатковому її проведенні.

7. Адгезійна міцність вітчизняного складу за нормальними руйнівними напруженнями нижче, ніж у закордонного аналога на 14%, а по дотичних - на 50%. Для забезпечення більш високих значень адгезійної міцності слід використовувати як нанонаповнювач ННС.

8. Вплив вібрацій більш впливає на герметизуючу здатність, ніж старіння. Нанонаповнення Полірем і Loctite збільшує стійкість до вібрацій відповідно на 9,5...27,5% та 4,0...32,1%, а до старіння - відповідно на 5,2...15,8% та 0,6...9,4%. УНТ і ННС мають найкращий ефект на герметизуючу здатність вихідних складів.

9. Модифікація полімерних матеріалів нанорозмірними частинками збільшує їх стійкість до дії робочих рідин до 32,59%, що призводить до підвищення термінів служби відремонтованих деталей. Найбільший ефект досягається при використанні УНТ та ННС.

10. На процесі формування структури ПКМ впливають властивості і концентрація наповнювачів, що вводяться. При структуруванні бемітом радіус полімерних волокон композицій збільшується в 1,2...1,3, ННС - 1,8...2,5 та УНТ - 1,4...3,3 рази. Зміна радіусу полімерних волокон призводить до збільшення їх «упакованості» і зниження рухливості, що підвищує характеристики ПКМ міцності після їх наномодифікування.

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІ ВИРОБНИЦТВА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ
ОБґРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Технологічні рекомендації

Результатами експериментальних випробувань ПКМ та

наномодифікацій на їх основі встановлено, що більш високу герметизуючу

здатність має Loctite при відновленні поверхонь зі сталі, проте нанокомпозиції

з Поліром перевершують ненаповнений закордонний аналог. Мінімальні

фізико-механічні характеристики складів виявляються при відновленні

поверхонь з алюмінію, а при використанні нанонаповнювачів найкращі

результати досягаються за допомогою УНТ та ННС.

При виборі ПКМ також слід враховувати той факт, що вартість Полірем
більш ніж у 3 рази нижча за вартість Loctite.

Технологічний процес закладання тріщин у корпусних деталях
передбачає такі операції (рисунок 5.1):

- Підготовка поверхні відновлення;
- підготовка нанокомпозиції та її нанесення;
- Видалення зайвого обсягу складу;
- затвердіння нанесеного складу;
- Контроль герметичності з'єднання.

Під час підготовки поверхонь відновлення необхідно враховувати такі
рекомендації [64] а іменно:

- ретельно їх очистити від забруднень з використанням шліфувальної
машини (наждакового паперу, сталеві щітки, шаберу або напилка);

- визначити межі тріщини, накернити центри і просвердлити отвори на
кінцях діаметром 2,5...3 мм (у разі важкодоступності тріщини отвори не
свердлять);

- зняти вздовж тріщини фаску під кутом 60...70 °З (рисунок 5.2 а)
залежно від товщини стінки деталі;

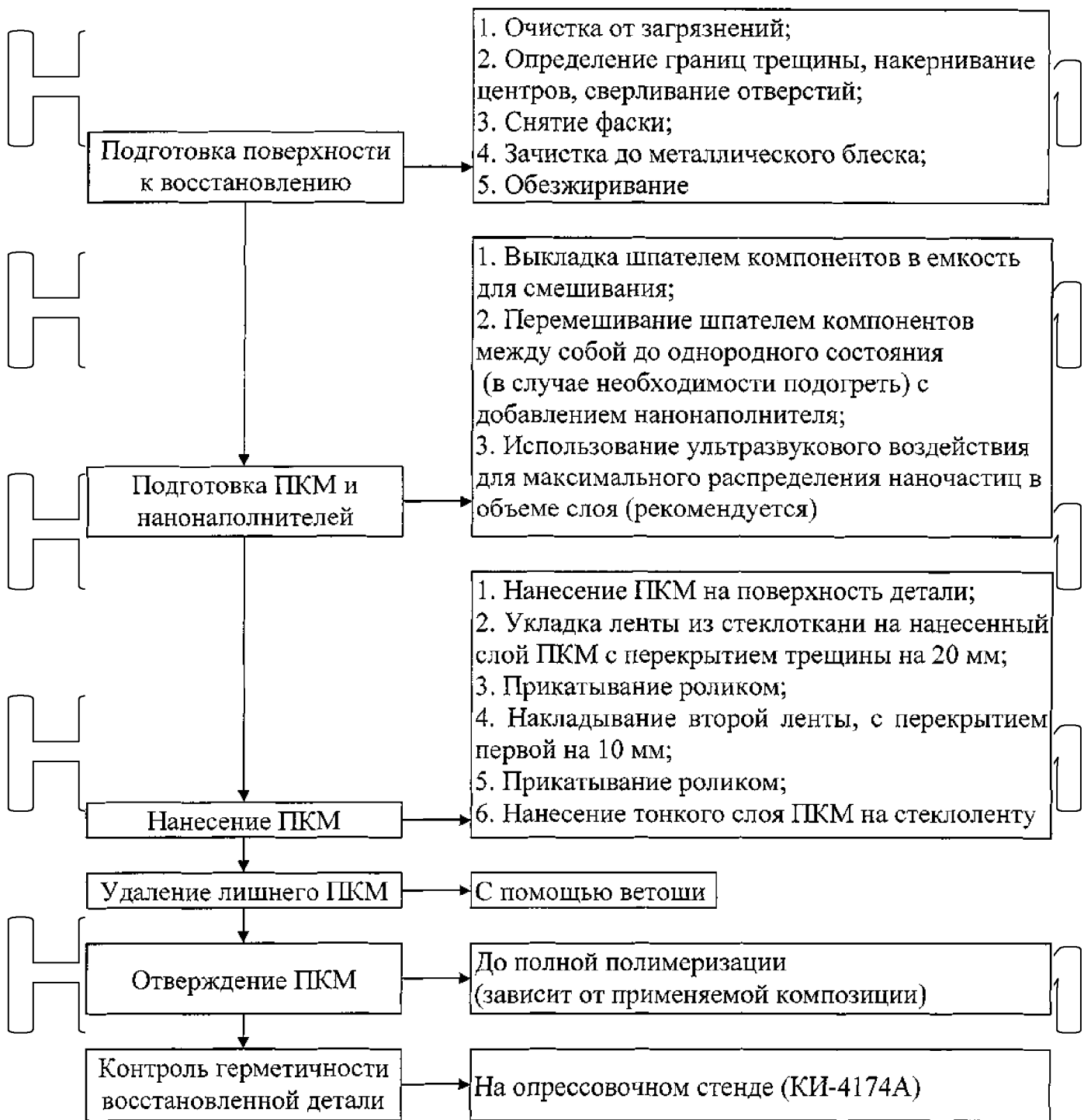


Рисунок 5.1 – Схема технологического процесса герметизации трещины корпусных деталей длиной 20...150 мм с использованием ПКМ

- зачистить поверхность до металлического блеска на 40...50 мм по обеим сторонам трещины та обдуть стиснутым воздухом;

зробити неглибокі насічки зубилом (рекомендується для великогабаритних деталей);

- двічі знежирити ацетоном і просушити протягом 8...10 хв.

Викласти однакові за обсягом порції двох компонентів у ємність для змішування з додаванням наноадгезива і ретельно перемішати до отримання однорідної композиції з рівномірним забарвленням. Для

досягнення максимального розподілу наночастинок в обсязі шару застосувати ультразвукову дію протягом 5 хв.

При герметизації тріщини довжиною до 20 мм приготований склад наносять на зачищену ділянку навколо тріщини (рисунок 5.2 а), і затверджують при кімнатній температурі. При герметизації тріщини довжиною 20... 100 мм

необхідно дотримуватися вищезгаданої послідовності, але після нанесення

ПКМ накладають стрічку зі склотканини з перекриттям тріщини на 20...25 мм і прикочують ролик. Після цього шпателем наносять тонкий шар ПКМ і проводять затвердіння (рисунок 5.2 б). Якщо тріщина має довжину від 100 до

150 мм, то рекомендується додатково накласти другу стрічку зі склотканини,

перекривши нею першу на 10...15 мм і прикачати ролик (рисунок 5.2). У разі

герметизації тріщини довжиною більше 150 мм, згідно з рекомендаціями [64],

приготований ПКМ наносять шпателем на зачищену поверхню деталі, встановлюють на неї металеву накладку і ввертають болти, попередньо

покрити різьблення та поверхню накладки тонким шаром ПКМ (рисунок 5).

При закладенні великих порожнин, раковин, тріщин рекомендується, по можливості заґрунтувати поверхню ПКМ, витримати 3...4 години, а потім усунути дефект за наведеною вище технологією.

Після нанесення складу дочекатися його повного затвердіння,

проконтролювати герметичність і надійність візуальним оглядом або на

опресувальному стенді (КІ-4174А) при тиску води 0,4 МПа протягом 5 хв.,

після чого відновлену поверхню можна навантажувати, виконувати механічну обробку (свердління, точіння, фрезерування, нарізування різьблення і т.ін.).

НУБІП України

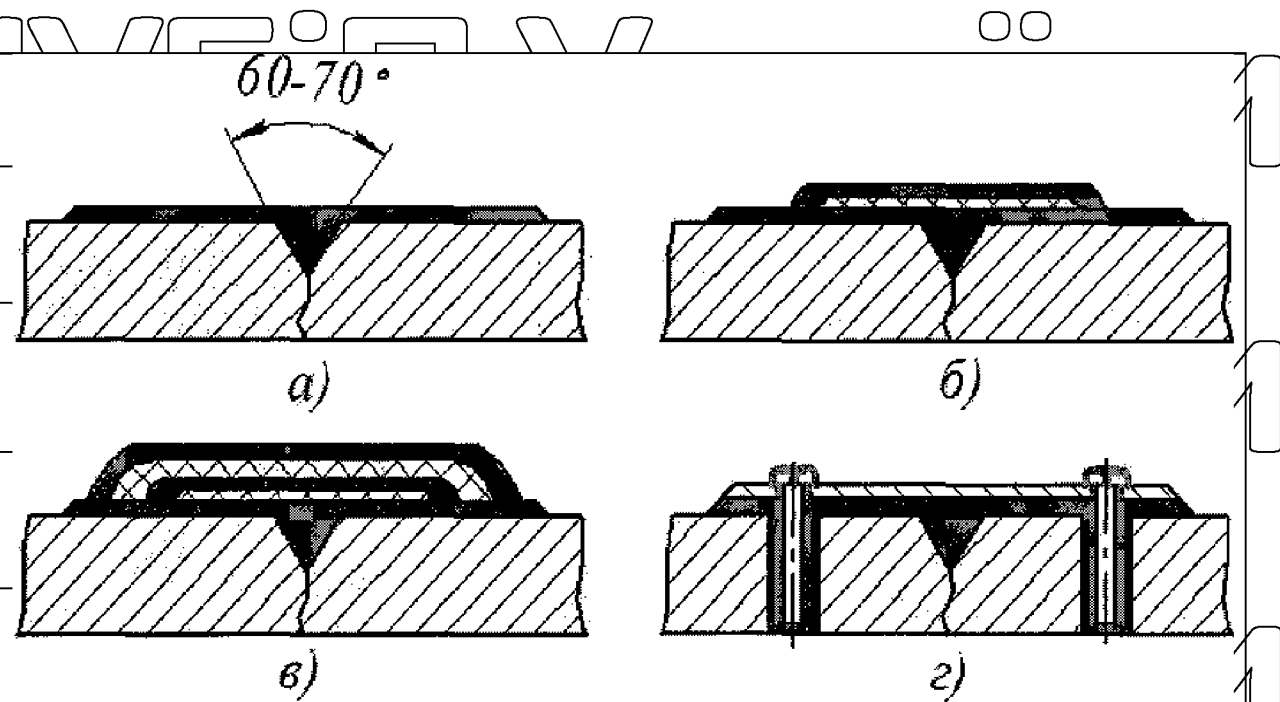


Рисунок 5.2 - Схема технологічного процесу герметизації тріщини:
а - обробка тріщини та нанесення шару ПКМ; **б** - укладання одного шару склотканини та нанесення ПКМ; **в** - укладання другого шару склотканини та нанесення ПКМ; **г** - встановлення металевої накладки на ПКМ.

5.2 Методика розрахунку економічного ефекту

Економічний ефект від впровадження технологічного процесу розрахований для конкретного підприємства виконуватися методом зіставлення економічних показників базової та нової технології відповідно до існуючих методик.

Порівняльний економічний ефект від заміни технології заварювання тріщин (базова технологія) технологією їх ремонту з використанням наномодифікованих ПКМ (нова технологія) розраховуємо за формулою:

$$E_{тн} = E_{тнн} - E_{тб}, \quad (5.1)$$

де $E_{тнн}$ – економічний ефект, отриманий за розрахунковий період при впровадженні нової технології, грн.;

$E_{тб}$ – економічний ефект, отриманий за розрахунковий період при використанні базової технології, грн..

В свою чергу:

$$E_{mn} = P_{mn} - Z_{mn}, \quad (5.2)$$

$$E_{TB} = P_{TB} - Z_{TB}, \quad (5.3)$$

де P_{TB} та P_{mn} - відповідно вартісна оцінка результатів, отриманих до та після впровадження нової технології за розрахунковий період, грн.;

Z_{mn} і Z_{TB} - відповідно вартісна оцінка витрат до та після впровадження нової технології за розрахунковий період, грн.

Оскільки у цій роботі розрахунок проводився у базових цінах, а протягом усього розрахункового терміну за роками інфляція не враховувалася, то вартісну оцінку результатів, за розрахунковий період, можна визначити за формулами:

$$P_{TB} = \sum_{t_n}^{t_k} W_{TB} \Pi_{TB} \alpha_t, \quad (5.4)$$

$$P_{TH} = \sum_{t_n}^{t_k} W_{TH} \Pi_{TH} \alpha_t, \quad (5.5)$$

де t_n - початковий рік розрахункового періоду;

t_k - кінцевий рік розрахункового періоду;

де W_{TB} та W_{TH} - відповідно програма ремонту корпусних деталей кооперативом за розрахунковий період до та після впровадження нової технології, $W_{TB} = W_{TH} = 10$ шт.;

Π_{TB} - ціна реалізації корпусної деталі, р.;

α_t - коефіцієнт приведення (дисконтування) різночасних витрат та результатів до розрахункового року;

Коефіцієнт приведення (дисконтування) розраховується за формулою:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (5.6)$$

де t - розрахункові роки ($t = 1, 2, 3, \dots, t$);

E - норматив приведення різночасних витрат, результатів та ефектів, чисельно рівний нормативу ефективності капітальних вкладень (E_n), $E = 0,1$.

У разі, за початковий рік розрахункового періоду прийнято рік впровадження технології і завершення наукових досліджень про проблему, тобто. $t_H = 2019$, а за кінцевий рік розрахункового періоду прийнято $t_K = 2023$ рік.

Тоді матимемо:

$$\alpha_1^{2020} = 1,000; \alpha_2^{2021} = 0,9191; \alpha_3^{2022} = 0,8265; \alpha_4^{2023} = 0,7513$$

Максимальну ціну реалізації і-го виду відновленої деталі (C_{max}) для споживача можна визначити за виразом:

$$C_{max} < C_H \times K_D, \quad (5.7)$$

де C_H – ціна нової деталі, грн.

K_D – коефіцієнт довговічності.

$$K_D = f(K_3, K_6, K_{34}), \quad (5.8)$$

де K_3 – коефіцієнт зносостійкості;

K_6 – коефіцієнт витривалості;

K_{34} – коефіцієнт зчеплюваності.

Коефіцієнт довговічності K_D чисельно приймається рівним значенню того коефіцієнта, що має найменшу величину.

Для базової технології, з використанням зварювальних способів К та - 1,0; $K_6 = 1,0$; $A'_{сц} = 1,0$, тоді приймемо $K_D = 1,0$.

Для нової технології з використанням ЦКМ на основі епоксидної смоли $A = 1,0$; $A'_{сц} = 0,7$, приймемо $K_D = 0,7$.

Мінімальну ціну для виробника можна визначити за формулою:

$$C_{pi} = (C_i + m_n + C_{нд}) K_C, \quad (5.9)$$

де C_i – собівартість відновлення і-го виду зношеної деталі на рік i , грн.;

m_n – нормативний чи реальний прибуток, який можна отримати від

відновлення і-го виду зношеної деталі. Для ведення розширеного виробництва коефіцієнт ефективності вкладень має бути не нижчим за 30 %.

Тоді величину нормативного прибутку приймаємо 30% від собівартості продукції та отримуємо:

$$m_{in} = C_i \times 0,3, \quad (5.10)$$

$C_{i.зд.}$ - вартість і-го виду зношеної деталі, грн.;

K_n - коефіцієнт попиту продукції року t , $K_n = 1$.

Зношені деталі, які від постачальників ремонтного фонду, враховують при обчисленні собівартості відновлення деталей за договірною ціною. На практиці вартість зношених деталей встановлюється рівною 0,1 від ціни нової деталі:

$$C_{зд} = 0,1 \times Ц_n, \quad (5.11)$$

де $Ц_n$ ~ середньозважена ціна нової деталі, грн.

Відповідно до формул 5.14...5.28 отримано економічні розрахунки для герметизації тріщин корпусних деталей з чавуну, алюмінію та сталі з використанням базової технології (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1

Економічні розрахунки для закладення тріщин з використанням базової технології

№ п/п	Економічні показники	Витрати на закладення тріщин корпусних деталей з:		
		Чавуну (Р)	алюмінію (Р-)	сталі (Р-)
1	Повна заробітна плата, ЗП	73,69	67,74	64,94
2	Витрати на організацію та управління виробництвом, ОУВ	221,06	203,23	194,81
3	Витрати на електроенергію, С е л	25,75	1390,23	1387,48
4	Витрати на матеріали,	121,54	8,30	7,72
5	Витрати амортизаційних відрахувань обладнання з розрахунку герметизації однієї тріщини, Л об	0,04	0,06	0,02
6	Собівартість герметизації тріщини ,	442,04	1669,50	1654,95

При розрахунку витрат на відновлення корпусних деталей з чавуну, алюмінію та сталі за проєктованим технологічним процесом, час, необхідний для підготовки їх поверхонь, однаковий. Тому за поверхню, що відновлюється,

можна прийняти деталь з будь-якого вищерозглянутого матеріалу. Нова технологія складатиметься з наступних технологічних операцій:

- підготовка поверхні $T_{під} = 0,31$ люд.-год.; зачистка поверхні $T_{зач} = 0,11$

люд.-год.; дворазове прокернювання $T_{КЕРН} = 0,05$ люд.-год.; просвердлювання

двох отворів на кінцях тріщини $T_{СВЕР.} = 0,07$ люд.-год.; обробка тріщини /

ОБРОБКА $= 0,05$ люд.-год.; дворазове знежирення $T_{розд.} = 0,03$ люд.-год.;

- підготовка стрічок зі склотканини $T_{2шт} = 0,02$ чел.-год.;

- підготовка та перемішування компонентів до однорідної маси з

рівномірним забарвленням $T_{цт} = 0,10$ с;

- герметизація тріщини деталі підготовленою масою $T_{шт4} = 0,08$ люд.-

год.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Однією з найпоширеніших несправностей сільськогосподарської техніки є утворення тріщин у корпусних деталях, які призводять до втрати їхньої герметичності, і як наслідок – виходу з експлуатації всієї машини загалом. В даний час одним з перспективних способів усунення цього дефекту є використання полімерних наноструктурованих композиційних матеріалів на основі епоксидних смол.

2. Теоретично обґрунтовано, що адгезійна міцність залежить від модулів зсуву та пружності полімерних складів, хімічного складу та фазової структури матеріалів, що входять до цієї сполуки, їх підготовки, ступеня розвиненості або шорсткості поверхні.

3. Значення герметизуючої здатності складу залежить від матеріалу корпусної деталі та розмірів тріщини. Максимальних значень цей параметр досягає на зразках зі сталі і становить 44,3, чавуну - 25,3 і алюмінію - 21,2 МПа.

4. Механічна очистка та знежирення поверхні ацетоном збільшують герметизуючу здатність залежно від виду наноконпозиції на 19,7...66,9% порівняно із замасленою поверхнею.

5. Збільшення герметизуючої здатності досягається при армуванні скловолокном та нанонаповненні складів. Використання одного шару скловолокна збільшує цей показник до 261%, а двох - до 334%. Нанонаповнення призводить до збільшення на 32,3...78,0% і скорочення часу полімеризації до 20,0%. Наномодифікація складу Loctite рекомендується використовувати при ремонті деталей зі сталі, а Полірем - зі сталі, алюмінію та чавуну. Найбільший ефект досягається при заповненні вихідних складів УНТ та ННС.

6. Збільшення температури до +120 °С призводить до зниження герметизуючої здатності досліджуваних складів і наноконпозицій на їх основі на 57...70% і скорочення часу полімеризації на 63...75%.

7. Нанонаповнення Полірем та Loctite збільшує стійкість до вібрацій, відповідно до 27,5% та 32,1%, а до старіння – відповідно до 15,8% та 9,4%.

Вібраційні навантаження призводять до більшого зниження герметизуючої здатності порівняно зі старінням.

8. Довговічність корпусних деталей сільськогосподарської техніки залежить від стійкості ремонтних складів до впливу робочих рідин, яка у нанокомпозицій до 32,6 % більша, ніж у ненаповнених складів.

9. При структуруванні наночастинками радіус полімерних волокон композицій зростає в 1,2...3,3 рази, внаслідок чого збільшується їх «упакованість» і знижується рухливість, що підвищує характеристики міцності складів.

10. Технологічний процес герметизації тріщин корпусних деталей впроваджено на двох підприємствах м. Москви та Володимирської області. Порівняльний економічний ефект від його впровадження з 2020 по 2023 рік за програмою ремонту 10 блоків циліндрів складе для вітчизняної нанокомпозиції 32 946,01 грн., що на 2 403,44 грн. більше, ніж для зарубіжних.

Список використаних джерел

1. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник / [М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В. В. Аулін та ін.]; за ред. М. І. Черновола. – друге видання, перероблене і доповнене. – Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с. : іл.

2. Структура та властивості полімерних композитів на основі епоксидного полімера, поліаніліну та оксиду металу Al(III) або Fe(III) / В.І. Штомпель, В.О. Віленська, В.Л. Демченко, Ю.Ю. Керча, С.В. Рябов // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: зб. наук. пр. — К.: РВВ ІМФ, 2012. — Т. 10, № 3. — С. 543-551. — Бібліогр.: 11 назв. — укр.

3. Механіка композитів. Прикладні дослідження. / А.Н. Гузь, Л.П. Хорошун, М.И. Михайлова і ін. // Київ : Наук. думка. - 2003. - Т 12. - 398 с.

4. Zhou J.P., Qui K.V., Fu W.L. The surface modification of ZnO and its effect on the mechanical properties of filled polypropylene composites // J. Composite Mater. - 2005. -V. 39, №21.-P. 1931-1941.

5. Аналіз надійності (безвідмовності) вітчизняних та зарубіжних тракторів [Текст] / Д.Г. Купрюнін [та ін.]. - М.: ТОВ «Столична друкарня», 2008, с. 96

6. Чорноіванів, В.І. Відновлення деталей машин (Стан та перспективи) [Текст] / В.І. Чорноіванів, І.Г. Голубєв. - М.: ФДНУ

8. Спирін, А.П. Екологічні вимоги до сільськогосподарської техніки [Текст] / О.П. Спирін, О.А. Сізов // Техніка сільському господарстві. - 1999. - №2.

9. Калашніков, А.Г. Ремонт базисних деталей тракторів [Текст] / А.Г. Калашніков. – Київ: Урожай, 1965. – 280 с.

10. Михальченко, А.М. Технологічні основи відновлення корпусних деталей із сірого чавуну з пластинчастим графітом [Текст] / дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Михальченко Олександр Михайлович. – Брянськ, 2000. - 373 с.

11. Воловик, Є.Л. Довідник з відновлення деталей [Текст] / Є.Л. Воловик. – М.: Колос, 1981. – 352 с.

12. Надійність та ремонт машин. Підручники та навчальні посібники для вищих навчальних закладів [Текст]/В.В. Курчаткін (та ін); за ред. В.В. Курчаткіна. - М.: Колос, 2000. - 776 с.

12. Башкирцев, В.І. Відновлення деталей машин та обладнання адгезивами [Текст]: дис....докт. техн, наук: 05.20.03 / Башкирцев Володимир Іванович. - Москва, 2004. - 397 с.

13. Чорноіванів, В.І. Організація та технологія відновлення деталей машин [Текст]/В.І. Чорноіванів. - М.: Агропромиздат, 1989. - 336 с.

14. Чорноіванів, В.І. Організація та технологія відновлення деталей машин [Текст]/В.І. Чорноіванів, В.П. Лялякін. Вид. 2-ге, дод. та перероб. - М.: ДЕРЖСНІПТИ, 2003. - 488 с.

15. Кузнецов, С.А. Технологія ремонту автотранспортних засобів: навчальний посібник [Текст]/С.А. Кузнецов; ГУ КузДТУ. - Кемерово, 2006. - 186 с.

16. Сельцер, А.А. Виявлення та усунення несправностей тракторів: Довідник [Текст]/А.А. Сільцер. -М.: Агропромиздат, 1987. - 271 с.

17. Казанцев, С.П. Розробка комбінованої технології отримання залізоборидних покриттів при відновленні та зміцненні деталей сільськогосподарської техніки [Текст]: дис. ... докт. техн, наук: 05.20.03 / Казанцев Сергій Павлович. - Москва, 2006. - 301 с.

18. Шевченка, Л.П. Дослідження питань довговічності та ремонту несучих систем тракторів та причепів на основі закономірностей руйнування [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн, наук: 05.20.03 / Шевченко Леонід Павлович. - Москва, 1975. - 21 с.

19. Коробейніков, А.Г. Випробування сільськогосподарських тракторів [Текст]/А.Г. Коробейніков, В.С. Лихачов, В.Ф. Шолохів. - М.: Машинобудування, 1982. - 184 с.

20. Волкін, І.В. Зноси та дефекти шасі трактора «Білорусь» [Текст]/І.В. Волкін // Праці ДОСВІТИ. - М. - 1968. - т. 15. - 284 с.

21. Кравчук, С.П. Дослідження напруг у блоках циліндрів тракторних двигунів [Текст]/С.П. Кравчук, М.М. Голубович, А.С. Шафаревич, Л.А. Кокановський // Трактори та сільгоспмашини. -1975. -№4. С. 39-40.

22. Дроздов, А.В. Пружно-пластичні властивості сірого чавуну у виливках [Текст]: дис. ... канд. техн, наук: 05.16.04 / Др

23. Сеїдов, А.М. Розробка технології та засобів оснащення відновлення корпусних деталей машин сільського господарства на основі застосування нормалізованого оснащення (на прикладі відновлення корпусів КПП зернових комбайнів) [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн, наук: 05.20.03 / Сеїдов Агамір

Мірі Огли. - Москва, 1983. - 16 с.

24. Мотовилін, Г.В. Відновлення автомобільних деталей олігомірними оздов Арнольд Васильович. -Москва, 1974. -149 с.

композиціями [Текст]/Г.В. Мотовилін. - М.транспорт, 1981. - 111 с.

25. Гуляев, А.П. Металознавство. Підручник для вишів. 6-те вид., перероб. та дод. [Текст]/А.П. Гуляев. -М: Металургія, 1986. - 544 с.

26. Усков, В.П. Довідник з ремонту базових деталей двигунів [Текст]/В.П. Усков. - Брянськ, 1998. - 589 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України Додаток 4

Порівняльні характеристики компонентів Полірем та Loctite

№ п/п	Параметр	Типове значення (характеристика) композиції	
		Полірем	Loctite
1	Зовнішній вигляд	сіра паста	
2	Кількість компонентів	2	00
3	Пропорція змішування (смола/затверджувач): - за обсягом - за масою	1:1 1,2:1	1:1 1:1
4	Максимальна величина зазору, що заповнюється,	-	1
5	Час придатності змішаного складу при +20 °	180...240	60
6	Час затвердіння при +20 °С, год	8	12
7	Температурний діапазон експлуатації, °С	від -60 до +150 (короткочасно +200)	від -20 до +120
8	Схильність до усадки при затвердінні, %	не схильний	0,1
9	Межа міцності на розрив, МПа	35	65
10	склад	Епоксидні та амінові смоли, мінеральний та сталевий наповнювач	Епоксидна смола, діоксид кремнію - кварц, 2,4,6 - Тріс (Діметиламінометил) фенол
11	Щільність змішаних компонентів, г/см ³	2,00	2,15
12	Форма фасування, г	80	500

НУБІП України