

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Кузнєцов Сергій Андрійович

УДК 539.422.5

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Кузнєцов С.А.

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Кузнєцов Сергій Андрійович. Використання композитних матеріалів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській досліджено запропоновані для ремонту різних видів обладнання композиційні матеріали, проведено аналіз можливостей їхнього застосування під час відновлювальних робіт і встановлено, що найоптимальнішими для усунення різних видів зносу є композити з керамічними наповнювачами.

Проведено дослідження основних видів зносу, оцінено вплив кожного виду на знос поверхонь, що піддаються гідравлічному впливу газоповітряних і водних середовищ, і ступінь руйнування поверхонь із різних матеріалів у процесі експлуатації обладнання.

Розроблено методику випробувань і проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення зносостійкості композиційних матеріалів з керамічними наповнювачами.

Розроблено методи відновлення основних деталей і вузлів технологічного та допоміжного обладнання аграрного комплексу, а також систем водо- і тепlopостачання господарства, розроблено технічну документацію з використання запропонованої технології та надано пропозиції щодо широкого застосування в різних галузях промисловості.

Ключові слова: керамічні матеріали, зносостійкість, випробовування, керамічний наповнювач.

ANNOTATION

Sergey Kuznetsov. The use of composite materials.. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis investigates the composite materials proposed for the repair of various types of equipment, analyzes the possibilities of their use during restoration work, and establishes that composites with ceramic fillers are the most optimal for eliminating various types of wear.

The main types of wear were studied, the influence of each type on the wear of surfaces exposed to the hydraulic effects of gas-air and water media and the degree of destruction of surfaces made of different materials during equipment operation were evaluated.

A test procedure was developed and a set of experimental studies was conducted to determine the wear resistance of composite materials with ceramic fillers.

Methods for restoring the main parts and components of technological and auxiliary equipment of the agricultural complex, as well as water and heat supply systems of the farm, have been developed, technical documentation for the use of the proposed technology has been developed, and proposals for widespread use in various industries have been made.

Keywords: ceramic materials, wear resistance, testing, ceramic filler.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	9
1.1 Композиційні матеріали та їх застосування для відновлення різних видів деталей та обладнання.....	9
1.2. Знос обладнання та вибір композиційних матеріалів для його усунення.....	13
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	17
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕМОНТНИХ КОМПОЗИТІВ.....	28
3.1. Технологічні основи застосування композиційних матеріалів при відновлювальних роботах.....	27
3.2. Методи усунення основних видів дефектів композиційними матеріалами...	41
3.3 Ефективність технологічних методів відновлення обладнання з використанням композитних матеріалів.....	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Технологічне та допоміжне обладнання в різних галузях промисловості та аграрній галузі в процесі експлуатації постійно піддається різним видам зносу. Наразі ступінь зносу подібного обладнання має глобальний характер. Так, за офіційними даними, знос обладнання в аграрній галузі незабаром може досягти 70%.

Традиційними методами усунення таких дефектів є зварювання, наплавлення і напилення. Зазначені методи відновлення дорогі, вимагають значних енерговитрат і не завжди ефективні.

Необхідність у ремонтних технологіях технологічного та допоміжного обладнання, що не потребують істотних фінансових витрат, трудових і матеріальних ресурсів, існують постійно. Саме таким вимогам відповідають технології ремонту з використанням зносостійких композиційних матеріалів. Рациональне використання їхніх фізико-хімічних властивостей дасть змогу істотно знизити собівартість і трудомісткість ремонту та скоротити витрати енергоресурсів і матеріалів на їхнє проведення.

В останні роки на ринку з'являються нові матеріали різного призначення, але найчастіше для обладнання, що відновлюється, потрібні високоякісні матеріали з високими фізико-механічними характеристиками. Тому розробка нових прогресивних композиційних матеріалів та технологічних методів їх використання є особливо актуальною.

Поява на ринку подібних високоякісних і доступних за ціною ремонтних композиційних матеріалів дозволить значно підвищити можливості та ефективність їх застосування під час проведення ремонтних робіт за новими енергозберігаючими технологіями.

Композиційні матеріали на полімерній основі мають високі фізико-механічні та хімічні властивості, використання яких призводить до значного зниження трудомісткості ремонту.

Застосування композиційних матеріалів із металевими наповнювачами знаменує зовсім новий підхід до технології ремонтних матеріалів та складальних робіт. Без використання енергії, механічних способів з'єднань вирішується одне з головних завдань у ремонтному та складальному виробництві. Дана ремонтна технологія носить назву «холодне зварювання» і має наступні основні переваги:

- проведення ремонту можливо проводити у виробничих та польових умовах без підведення енергії;
- ремонтно-відновлювальні роботи можливо виконувати у важкодоступних та незручних місцях;
- відсутня необхідність у застосуванні спеціального оснащення та інструменту при відновленні фрагментів деталей;
- металополімери прискореного затвердіння дозволяють провести терміновий (аварійний) ремонт протягом короткого часу (3-4 хв);
- висока технологічність та простота приготування суміші не потребує додаткового навчання користувача;
- можливість здійснювати з'єднання різнорідних матеріалів між собою та в різних поєднаннях між ними;
- використання металополімерів як конструкційних матеріалів.

Усі ці переваги підтверджують доцільність широкого використання ремонтних композиційних матеріалів в ремонтному виробництві.

Об'єкт досліджень — процес ремонту техніки та обладнання аграрної галузі за допомогою використання композиційних матеріалів із металевими наповнювачами.

Предмет досліджень — полягає у виявленні закономірності зміни триботехнічних характеристик композиційних матеріалів із металевими наповнювачами.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є розробка методів відновлення деталей техніки та обладнання аграрної галузі на базі застосування зносостійких композиційних матеріалів.

У зв'язку з поставленою метою визначено **завдання досліджень:**

1. Провести систематизацію та аналіз зносу, дефектів машин, технологічного та допоміжного обладнання аграрної галузі.
2. Дослідити різні види зносу та причини їх виникнення.
3. Провести аналіз ремонтних композиційних матеріалів, дати пропозиції щодо їх застосування при проведенні ремонтно-відновлювальних.
4. Провести дослідження існуючих на ринку композиційних матеріалів та виділити з усієї номенклатури найбільш підходящі для ремонтно-відновлювальних робіт.
5. Розробити методологію відновлення обладнання з використанням ремонтних композиційних матеріалів.

Методи наукового дослідження. При виконанні експериментальних досліджень застосовували загальні методики фізичного моделювання та тривимірного друку, основ поляризаційно-оптичного методу, сучасні прилади та обчислювальну техніку з пакетом програм з математики та статичного опрацювання даних, методи планування стендових та експлуатаційних випробувань.

Достовірність отриманих результатів забезпечується узгодженням теоретичних та експериментальних досліджень, використанням сучасних методів досліджень, новітніх лабораторних установок для дослідження фізико-механічних та зносостійких властивостей композиційних матеріалів, необхідним обсягом експериментальних досліджень, виконаних автором, базується на використанні методів математичної статистики та впровадженням запропонованих методів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар І. Г., **Кузнєцов С. А.** Композиційні матеріали та їх застосування для відновлення різних видів обладнання. Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХДАЕУ, 17-18 вересня 2024 року). Херсон: ХДАЕУ, 2024. С. 347-351.

2. Грабар І. Г., **Кузнєцов С. А.** Знос обладнання та вибір композиційних матеріалів для його усунення. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 306-308.

3. **Кузнєцов С. А.** Технологічні основи застосування композиційних матеріалів при відновлювальних роботах. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 19-20.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено та впроваджено нові технологічні методи відновлення та захисту від корозійного, кавітаційного та абразивного зносу деталей та вузлів обладнання з використанням композиційних матеріалів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 51 сторінка комп'ютерного тексту, містить 20 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Композиційні матеріали та їх застосування для відновлення різних видів деталей та обладнання

Нині в сільському господарстві дедалі більша увага приділяється перспективним ремонтно-відновлювальним технологіям таких важливих систем життєзабезпечення тварин та людей, як водопостачання і тепlopостачання. Одними з найважливіших складових цих систем є трубопроводи та різне обладнання, які здійснюють роботу в неоднакових температурних режимах, але мають схожий характер пошкоджень і дефектів. Практика останнього часу показує, що саме нові зносостійкі ремонтні композиційні матеріали (ЗРКМ) і засновані на їх використанні технології дають можливість оперативного усунення дефектів, що виникають під час експлуатації цього обладнання.

Нині існує необхідність у ремонтних технологіях обладнання тваринницьких ферм та обладнання систем тепло- і водопостачання, які не потребують значних фінансових, матеріальних і трудових ресурсів. Цим вимогам задовольняють технології ремонту з використанням ремонтних компаундів, застосування яких не потребує складного і дорогого оснащення та обладнання і може слугувати адекватною заміною наплавленню, зварюванню і пайці.

Раціональна експлуатація фізико-хімічних властивостей ЗРКМ призводить до значного зниження трудомісткості та собівартості ремонтно-відновлювальних робіт і істотного скорочення витрат матеріалів на їх проведення.

До основних переваг цієї ремонтної технології з використанням зносостійких композиційних матеріалів слід віднести можливість їхньої полімеризації в різних температурних режимах і отримання необхідних розмірів і форми затверділого складу. Це дає змогу проводити ремонтні роботи, виключаючи складні технологічні операції нанесення та обробки матеріалу.

Нині використання нових ремонтних технологій із застосуванням композиційних матеріалів значно підвищує якість робіт. Якщо спочатку номенклатура композитів обмежувалася кількома типами і здебільшого це були металонаповнені компаунди, які мають низькі, нестабільні фізико-механічні характеристики, то необхідність у розширенні сфери застосування поставила важливу задачу створення нових ЗРКМ з більш високими фізико-механічними властивостями. І як наслідок з'явилася потреба у вивченні, узагальненні, систематизації та подальшому застосуванні на практиці різних видів ремонтних компаундів. Проведений аналіз засвідчив необхідність у розробленні методів застосування ЗРКМ, адже їх використовуватимуть під час відновлення обладнання тваринницьких ферм та інженерних мереж, що призведе до подовження його життєвого циклу.

Основним напрямком, що забезпечує своєчасне подовження життєвого циклу роботи обладнання є ремонтно-відновлювальні технології з використанням зносостійких композитів.

Це викликано тим, що традиційні способи відновлення і ремонту пошкоджених і зношених механізмів і вузлів на підприємствах потребують значних трудових і фінансових витрат, при цьому заміна деталей з дефектами на нові не завжди є економічно вигідною.

Ремонтні композиційні матеріали, що володіють зносостійкими властивостями, можуть бути використані під час проведення ремонтних і профілактичних заходів у таких галузях, як легка промисловість, ЖКГ,

енергетика, машинобудування, хімічна і нафтопереробна промисловість, авто-та судноремонт, і в інших.

Використання ЗРКМ призведе до зниження собівартості ремонтних робіт від 3 до 10 разів (зокрема внаслідок відсутності необхідності в дорогому демонтажі), а також до появи можливості відновлення тих деталей і вузлів, які неможливо ремонтувати за допомогою традиційних способів (зварювання, наплавлення, напилення).

Широке застосування під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт обладнання тваринницьких ферм та інженерних мереж знайшли ремонтні компаунди на основі модифікованих епоксидних олігомерів, що полімеризуються без нагрівання, до складу яких входять мінеральні (зокрема керамічні) і металеві наповнювачі.

Присутність у складі композиту дрібнодисперсних порошків призводить до підвищення характеристик міцності в затверділому стані та працездатності в діапазоні температур від -60° до $+150^{\circ}\text{C}$. Застосування подібних матеріалів у ремонтних роботах становить 70% від загального обсягу всіх клейових матеріалів. Але за своїми характеристиками міцності ремонтні композиційні матеріали поступаються металам, які застосовують під час напилення і наплавлення, а їхнє використання, як зазначалося раніше, обмежене температурним режимом від -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$. Водночас у цьому діапазоні вони становлять серйозну конкуренцію металам.

Застосування ремонтних компаундів дає можливість здійснювати такі види робіт, як нанесення зносостійких покриттів, відновлення геометрії деталей, зруйнованих унаслідок впливу корозії та ерозії, відновлення й захист корпусних деталей від негативного впливу доквілля, герметизація та зашпаровування різних тріщин, пробоїн, відколів і вм'ятин тощо.

Така актуальність питань, що стосуються ремонту машин, викликана наявністю в нашій країні великого парку морально і фізично застарілого

устаткування, що вимагає постійного, а найчастіше й аварійного ремонту за хронічної нестачі запасних частин. Головним конструкційним матеріалом масового машинобудування є метал. Зазвичай ремонт виробів, виготовлених із металу, виконують із використанням металу. Для забезпечення контактної взаємодії між металами необхідно застосовувати термічний вплив, що забезпечується спеціальним громіздким технологічним обладнанням і висококваліфікованим персоналом. Нові можливості в технології ремонтних робіт відкриває застосування композитів. За кордоном ремонтні компаунди були створені наприкінці 60-х на початку 70-х років двадцятого століття. Першим виробником була швейцарська фірма «Durmetall», яка для ремонтних цілей випустила композит універсального застосування «Durmetall-standart». Пізніше матеріали створювалися іншими зарубіжними фірмами, які освоїли технологію виробництва і застосування вже цілої гами ремонтних складів.

Необхідність у ремонтних технологіях технологічного та допоміжного обладнання, що не потребують істотних фінансових витрат, трудових і матеріальних ресурсів, існує постійно. Саме таким вимогам відповідають технології ремонту з використанням зносостійких композиційних матеріалів. Рациональне використання їхніх фізико-хімічних властивостей дасть змогу істотно знизити собівартість і трудомісткість ремонту та скоротити витрату енергоресурсів і матеріалів на їхнє проведення не тільки в сільському господарстві, а й під час відновлення обладнання в промисловому виробництві.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної практики виявив можливість усунення близько 15-20% дефектів трубопроводів у системах водо- і теплопостачання завдяки застосуванню для їхнього ремонту технології на основі металополімерних композитів, що працюють за принципом «холодного зварювання», що відкриває нові можливості відновлення.

У цьому разі основою адгезії виступає молекулярна взаємодія полімерної матриці ремонтно конструкційних матеріалів з металом відновлюваної поверхні.

Зміна механізму зміцнення дає можливість повністю відмовитися від механічного і термічного впливу на відновлювану поверхню в процесі ремонту зношених деталей різного устаткування. Тому технологічний процес із використанням металополімерів має назву холодного молекулярного зварювання, або «холодне зварювання».

Сучасні ЗРКМ – наукомістка продукція. Для створення композиційних матеріалів із потрібним комплексом експлуатаційних і технологічних властивостей використовують останні досягнення в різних галузях науки.

1.2. Знос обладнання та вибір композиційних матеріалів для його усунення

Розвиток виробничого сервісу в різних галузях промисловості ґрунтується на використанні нових матеріалів і обробці прогресивних технологій, зокрема тих, що включають операцію нанесення покриттів.

Захисні покриття дають змогу не тільки отримувати нові властивості виробів завдяки утворенню композицій, що поєднують високу довговічність (зносостійкість, спеціальні властивості) з достатньою надійністю, а й підвищувати експлуатаційну стійкість деталей машин та інструментів, відновлювати зношені поверхні, а отже, знижувати потреби в запасних частинах. За допомогою покриття досягаються особливі властивості робочих поверхонь завдяки оптимізації характеристик експлуатованого виробу. Модифікування поверхні як метод забезпечує значну економію дефіцитних і дорогих легувальних металів, що використовуються для об'ємного легування в традиційних технологіях отримання сплавів зі спеціальними властивостями. Особливо слід підкреслити роль покриттів з метою створення поверхневих композицій для збільшення конструктивної міцності в разі різкої різниці між властивостями основного металу і покриття.

Для оптимізації технологічних процесів нанесення захисних корозійно- і зносостійких покриттів необхідно вдосконалювати наявні та розробляти нові методики оцінки конструктивної міцності матеріалів із покриттями.

Структурний аналіз покриття повинен доповнюватися і підтверджуватися даними вивчення механічних, фізичних та інших властивостей. Своєю чергою це дасть змогу оновити технологію і вивести її на нові пошукові рубежі.

Методи нанесення покриттів широкі та різноманітні. Однак нині, з урахуванням тенденцій технологічного розвитку і потреб ремонтних служб, найперспективнішими слід вважати:

- нанесення покриттів із композиційних матеріалів;
- плазмовий метод нанесення покриттів;
- газодинамічний метод нанесення покриттів.

Раніше було відзначено недоліки другого і третього методів, тоді як нанесення покриттів композиційними матеріалами під час відновлення устаткування є найпростішим у застосуванні та економічно вигідним методом. Дослідження цього методу і є предметом цього дослідження.

Унаслідок різних видів зносу – абразивного, корозійного, кавітаційного змінюються характеристики обладнання, яке експлуатується, що негативно позначається на його продуктивності та часто призводить до виходу з ладу. Для усунення результатів зносу доцільно детально розглянути його види і вибрати відповідні композиційні матеріали та технології, що забезпечують відновлення обладнання.

Стосовно поставленої задачі слід зазначити, що існує кілька видів абразивного зношування, і всі вони відносяться до механічного, тобто до руйнування і відділення матеріалу від поверхні в результаті механічних впливів. Власне абразивне зношування – це механічне зношування матеріалів, здебільшого під час ріжучої або царапайочої дії твердих частинок, які перебувають у вільному або закріпленому стані. Гідроабразивне зношування –

результат дії твердих частинок, зважених у рідині, які переміщуються відносно тіла, що зношується. Ударно-абразивне зношування спостерігається під час динамічного контакту взаємодіючих поверхонь, якщо між ними є частинки, що перевершують за твердістю поверхні індентора і покриття.

Руйнування поверхні відбувається під впливом абразивних матеріалів. Абразивним матеріалом називають мінерал природного або штучного походження, частинки якого (зерна) мають достатню твердість і мають здатність різання (дряпання). До таких частинок належать:

а) нерухомо закріплені тверді зерна, що входять у контакт по дотичній або під невеликим кутом атаки до поверхні деталі (наприклад, шаржування сторонніми твердими частинками, м'яких антифрикційних матеріалів);

б) вільні абразивні частинки, що залучаються в потік газом або рідиною.

в) незакріплені частинки, що входять у контакт із ремонтною поверхнею деталі (наприклад, абразивні частинки в ґрунті під час експлуатації ґрунтообробних машин, насипні вантажі під час їхнього транспортування спеціалізованими пристроями тощо);

г) вільні частинки в зазорі спряжених деталей.

Абразивному зносу піддаються деталі та вузли гірничих, сільськогосподарських, транспортних, дорожньо-будівельних машин, а також металургійного устаткування, шасі літаків, транспортувальних пристроїв, металорізальних верстатів, труби водяних економайзерів і парових котлів, лопатки газових турбін, робочі колеса і напрямні апарати гідравлічних турбін, труби і насоси земснарядів, бурильне устаткування нафтової та газової промисловості, лопаті димососів, а також, перераховане раніше обладнання та пристрої, що функціонують у системах водо- і теплопостачання.

На процес абразивного зношування впливають агресивність середовища, природа абразивних частинок, ударна взаємодія, властивості поверхонь, що

зношуються, нагрівання та інші чинники. Загальним для абразивного зношування є механічний характер руйнування поверхні.

Абразивне зношування спричиняє ґрунт, ґрунт, окисні плівки, закріплені поверхні, продукти зношування, особливо частинки твердих структурних складових, які викришилися, швидкість потоку рідини тощо.

Абразивні частинки можуть мати різну форму і бути по-різному орієнтовані відносно сполученої поверхні. Здатність абразивного зерна вдавлюватися в поверхню залежить не тільки від співвідношення їхніх твердостей, а й від геометричної форми зерна. Так, зерно опуклою поверхнею або гострим ребром може бути вдавлене, навіть без ушкоджень, у плоску поверхню більш твердого тіла. Цим пояснюється зношування металу абразивними частинками з твердістю, меншою за його твердість.

Зношування від абразивних частинок у потоці рідини або газу. За припущення, що середовище неагресивне до поверхні деталі, слід розрізняти два випадки взаємодії абразивних частинок із матеріалом

1. Удар прямий, кут атаки $\alpha = 90^\circ$. Залежно від маси частинок, швидкості їхнього падіння, властивостей абразиву і фізико-механічних властивостей матеріалу деталі виникають пружна деформація, пластична деформація, крихке руйнування, перенаклеп з відділенням матеріалу у вигляді лусочок.

2. Косий удар, $0 < \alpha < 90^\circ$. За кутів атаки, не більших за кут тертя, на характер пошкодження поверхні сильно впливає дотична складова імпульсу та опір матеріалу впливу дотичних сил на поверхню.

Механізм абразивного зношування полімерних матеріалів визначається ступенем їхньої еластичності. У високоеластичний матеріал – гуму, вулкан, поліуретановий вулканізатор тощо – абразивні частинки легко вдавлюються, не спричиняючи пластичної деформації навіть під час глибокого вдавлення. Під час переміщення абразивних частинок поверхнею виникають сили тертя, при цьому частинки, що йдуть попереду, спричиняють стиснення, а позаду неї – розтягнення.

При багаторазовому впливі відбудуться мікророзриви поверхні і винесення частинок. Полімерні композиційні матеріали певного складу як покриття здатні протистояти абразивному руйнуванню, бо завдяки підбору наповнювачів можна отримати механічні характеристики, вищі за характеристики абразивного середовища. Тому їх застосування для протидії абразивному зносу становить певний інтерес.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗНОСОСТІЙКИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

До експлуатаційної характеристики композитів слід віднести зносостійкість. З метою її визначення з досліджуваними матеріалами було проведено комплекс експериментів.

Зразки для цих випробувань виготовляються з куточків з алюмінію з гранню розміром 35×15мм (рис. 2.1). У центрі однієї зі сторін куточка вирізали паз для кріплення в тримачі на машині тертя 77 МТ-1.



Рис. 2.1. Зразок (куточок) із нанесеним матеріалом для випробувань на зносостійкість.

Усі зразки перед нанесенням композиційного матеріалу готували за стандартною методикою (так само як і у випробуваннях на зсув і відрив):

- зачищення поверхонь, що з'єднуються, механізованим способом до шорсткості $R_z = 175$ мкм;
- знежирення зачищених поверхонь очищувачем Chester Molecular F7.

Після підготовки поверхні наноситься випробовуваний композит на одну зі сторін куточка. Товщина шару композиту 2 мм. З метою формування рівного (суцільного) шару композиту певної товщини на поверхні сторони і запобігання стікання матеріалу з поверхні, з пластиліну формується прямокутний контур (відсік для заповнення матеріалом).

Для створення шару певної товщини в утворений відсік заливають компаунд такої ж ваги, як і в інші зразки.

Для полімеризації композиційного матеріалу зібрані зразки витримували на повітрі за кімнатної температури протягом 24 годин.

Безпосередньо перед встановленням у тримач машини тертя зразки зважували на електронних вагах (рис. 2.2). Це значення фіксується для

подальших розрахунків - у разі виявлення зниження маси нанесеного матеріалу на зразок під час випробувань тертям.



Рис. 2.2. Зважування зразка на електронних вагах

Після чого зразок встановлювали безпосередньо в тримач лабораторної установки, а потім виставляли за допомогою підвісної системи гир навантаження в 5 кг. Тривалість експерименту становила 9 годин. Зразок зважували після кожної години випробування і результати заносили в протокол.

Після закінчення циклу стирання зразки знову зважували на електронних вагах, фіксували втрату маси композиційного матеріалу, результати заносили до протоколу.

Результати первинних випробувань зразків матеріалів представляють у координатах «втрати маси g_e - тривалість зношування t » (рис. 2.3).

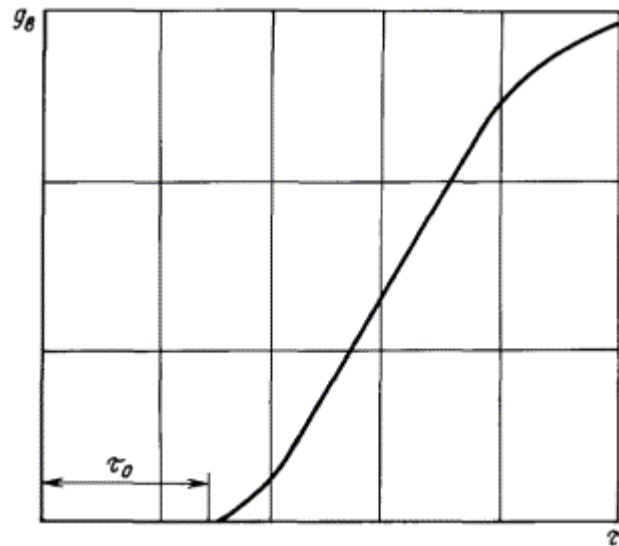


Рис. 2.3. Залежність втрати маси випробуваного зразка від тривалості його зношування

Для дослідження матеріалів під час тертя зі зворотно-поступальним рухом рухомого зразка (випробування на зносостійкість) використовували машину тертя 77 МТ-1, загальний вигляд якої представлено на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Машина тертя 77 МТ-1.

На рис. 2.5 наведено схему випробувань зразків на зносостійкість.

Випробовувані зразки (рис. 2.5) 1 і 3 розміщені у ванні 5, заповненій маслом 4. Ванна на кульових опорах 6 може переміщатися щодо повзуна 7 з мінімальними втратами на тертя. Переміщення ванни обмежується пластинами 9, між якими розташована стійка 8, жорстко пов'язана з ванною. Повзун

здійснює зворотно-поступальний рух, при цьому зразок 3 переміщується разом із ним. Під час прикладення навантаження на зразки через шток 2 у контакті виникатиме сила тертя, що перешкоджає переміщенню зразка 3 і ванни, в якій він закріплений. При цьому пластини 9 деформуватимуться, причому значення деформації в межах пружності буде пропорційне силі тертя. На пластину наклеюють тензометричні датчики 10, сигнал з яких через підсилювач 11 подається на реєструвальний прилад 12. Одночасно на цьому ж приладі записується температура нерухомого зразка [7].

Ця схема дає змогу під час випробувань з високою точністю реєструвати силу тертя. Повзун переміщується з частотою 60 подвійних ходів на хвилину. Довжина робочого ходу становить 0,06 м. Отже, середня швидкість під час випробувань дорівнює 0,12 м/с.

Площа тертя верхнього зразка під час випробувань становить 50×10^{-5} м.

Матеріал нижнього і верхнього зразків сталь 45 (HRC, Ra 1,6)

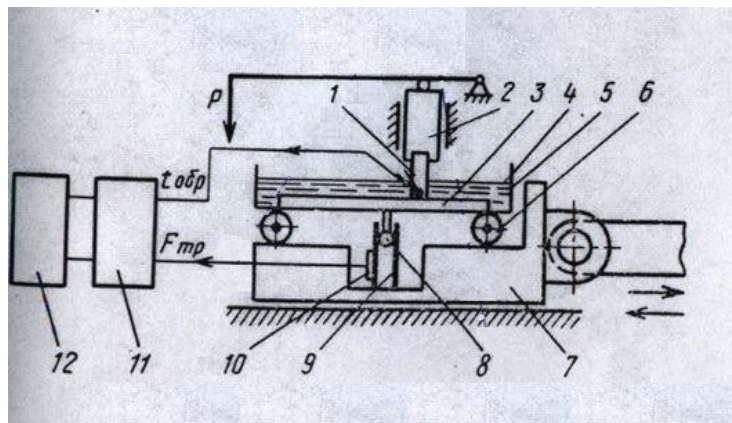


Рис. 2.5 Схема випробувань на машині тертя 77 МТ-1 .

Граничні для матеріалу або покриття навантаження можливо визначити на машині з зворотно-поступальним рухом 77 МТ-1 [6, 7]. Машина тертя 77МТ-1 складається з трьох агрегатів: електродвигуна, редуктора і власне машини тертя.

Кінематична схема наведена на рис. 2.6.

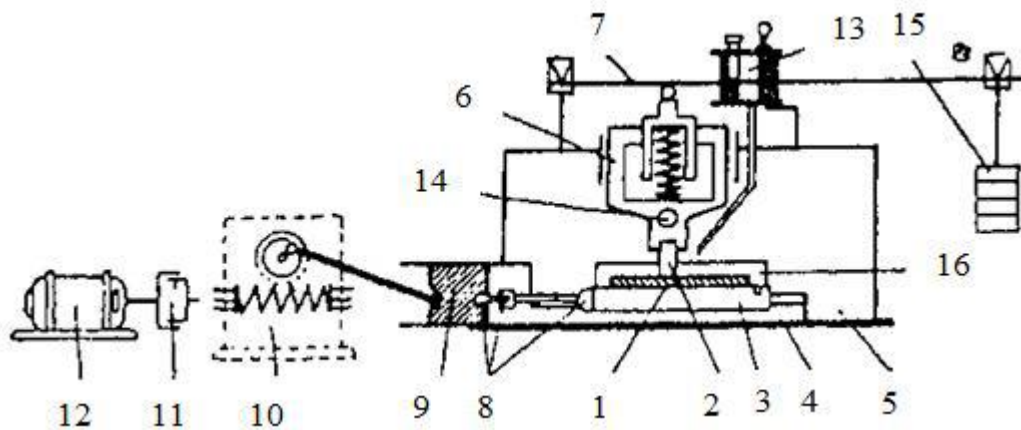


Рис. 2.6. Машина тертя 77MT-1 1 – зразок із циліндра; 2 – зразок із поршневого кільця; 3 – повзун; 4 – напрямна; 5 – корпус машини; 6 – шток; 7 – важіль навантаження; 8 – шарніри; 9 – крейцкопф; 10 – редуктор; 11 – муфта; 12 – електромотор; 13 – маслянка; 14 – нагрівальний елемент; 15 – вантаж; 16 – ванна для змащення.

Крейцкопф шарнірно з'єднаний із повзуном 3, на якому двома гвинтами кріпиться зразок 1. Повзун рухається по направляючій 4. Завдяки шарнірному з'єднанню 8 і циліндричній формі перерізу напрямної повзун має змогу орієнтуватися за нерухомим верхнім зразком 2, закріпленим у деталі 6, що рухається тільки вертикально (перпендикулярно до руху повзуна) [6, 7].

Вузол навантаження складається з важеля 7 зі співвідношенням плечей 1:5, вантажу 15 і деталі 6, що передає зусилля на зразки. Верхній зразок 2 кріпиться до деталі 6 планкою, що притискається трьома гвинтами. Мاستило подається по трубці краплями.

Передбачена система змащення деталей машини, що труться. У деталі 6 є свердління 14, в якому поміщається термоелемент для нагріву верхнього зразка; в повзуні зроблено свердління для нагріву нижнього зразка.

Температуру зразків вимірюють мідно-константовими термопарами, вставленими в міліметрові отвори в торцевій частині зразків [6, 7].

Технічні дані машини тертя 77 MT-1: Привід – 1 кВт; Габарити – 1300×350×250; Маса – 90 кг; Навантаження на важіль – максимальне 20 кг; Число подвійних ходів повзуна – 108 хв.

За необхідності випробування зразків у проточному маслі ванна для змащення 16 забирається. Відпрацьоване масло стікає в банку, розташовану в корпусі машини.

На машині можна змінювати умови змащення зразків, навантаження, а також температуру і робоче середовище. Для цього в машині передбачено дозувальний пристрій для подачі мастила до зразків, вузол навантаження і приміщення для термоелементів, що підвищують окремо температуру верхнього і нижнього зразків під час випробувань. Вузол тертя укладений у металевий корпус із патрубками для підведення газового середовища (азоту, аргону, відпрацьованих газів тощо). Спостереження за подачею мастила здійснюється через вікно з органічного скла в корпусі машини. Конструкція машини допускає встановлення як зразків, вирізаних із поршневого кільця (рис. 2.7, а) і циліндра (рис. 2.7, б), що мають форму ділянки циліндричної поверхні, так і плоских. Обертання від електродвигуна через муфту передається на черв'ячний редуктор, на вихідному валу якого укріплений диск. У диску ексцентрично укріплений палець, що повідомляє через шатун зворотно-поступальний рух крейцкопфу (рис. 2.8) [7].

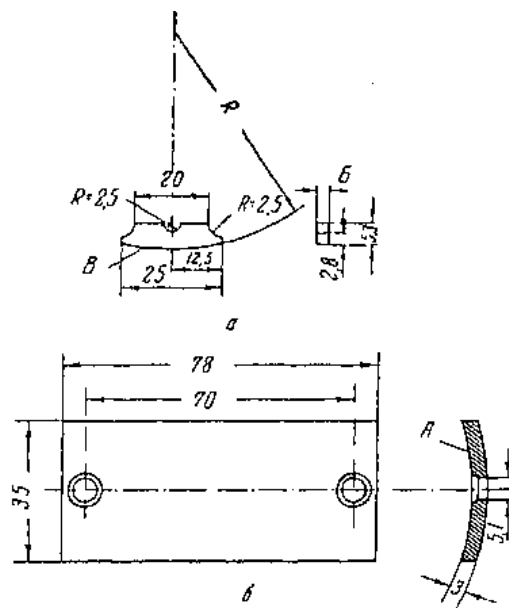


Рис. 2.7. Зразок для випробування на зношування до машини тертя 77 МТ-

1

На рис. 2.8 представлено зразок із нанесеним композитом, встановлений у тримачі.



Рис. 2.8. Встановлений у тримач зразок для випробування на зносостійкість

Порівняно з іншими схемами машин тертя зі зворотно-поступальним рухом застосування повзуна з великим числом ступенів свободи дає змогу прискорити приробіток зразків, що мають плоску або увігнуту поверхню, у разі випробування зразків, вирізаних із циліндра і поршневих кілець двигуна. Крім того, знімання і вторинне встановлення зразків у машину відбувається без додаткового припрацювання.

Проведені раніше дослідження показали, що величини вагових зносів двох сполучених зразків з однакового матеріалу за незмінних умов випробувань залежать від величин їхніх поверхонь тертя.

У зразка з більшою поверхнею тертя вагове зношування більше, ніж у зразка з меншою поверхнею. Таким чином, було встановлено, що співвідношення вагових зносів є одним із критеріїв моделювання під час

проведення випробувань матеріалів на лабораторних установках. Виявленню цього явища сприяла хороша відтворюваність результатів під час випробування матеріалів на зношування на машині тертя 77MT-1 Під час випробувань на зносостійкість було отримано такі результати (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Протокол результатів випробувань зразка з нанесеним матеріалами Chester Metal Ceramic F, FSL, FHT, T. Початкова маса зразка $m_0 = 8,9$ г.

№ п/п	Маса зразка до початку етапу випробування, г				Час етапу випробування, год
	Ceramic F	Ceramic FSL	Ceramic FHT	Ceramic T	
1	8,8	8,9	8,8	8,8	1
2	8,7	8,7	8,7	8,8	2
3	8,6	8,8	8,8	8,7	3
4	8,6	8,6	8,8	8,7	4
5	8,6	8,7	8,6	8,7	5
6	8,5	8,5	8,7	8,6	6
7	8,5	8,6	8,6	8,5	7
8	8,5	8,5	8,6	8,5	8
9	8,5	8,5	8,5	8,5	9
10	8,4	8,4	8,5	8,4	10

Результати експериментів відображено на графіку (рис. 2.9-2.12).

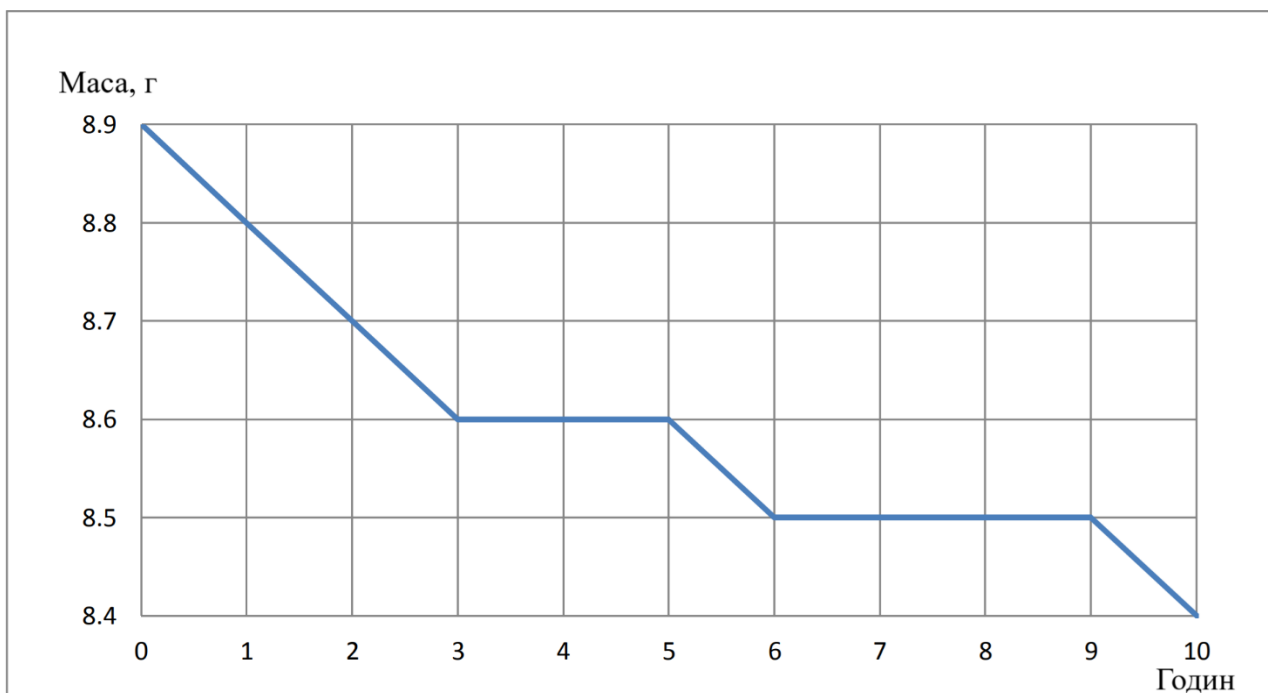


Рис. 2.9. Втрати маси зразка з нанесеним матеріалом Ceramic F протягом 10 годин.

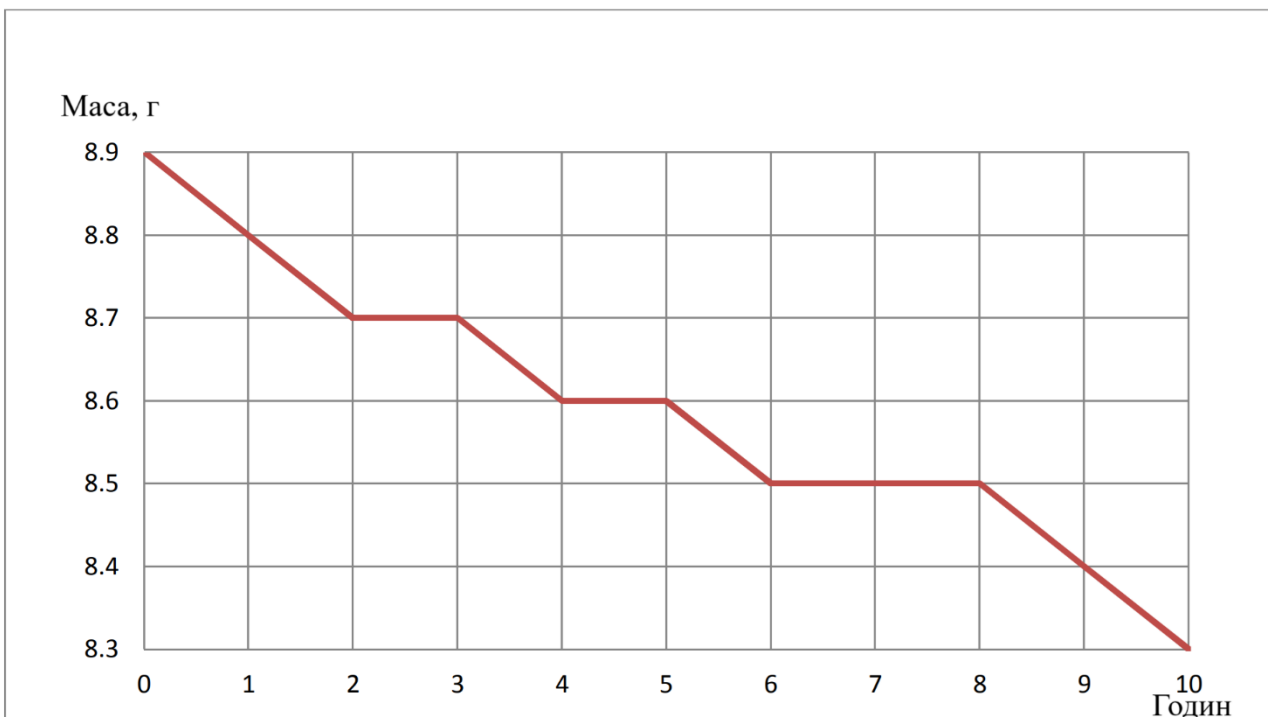


Рис. 2.10. Втрати маси зразка з нанесеним матеріалом Ceramic FSL протягом 10 годин.

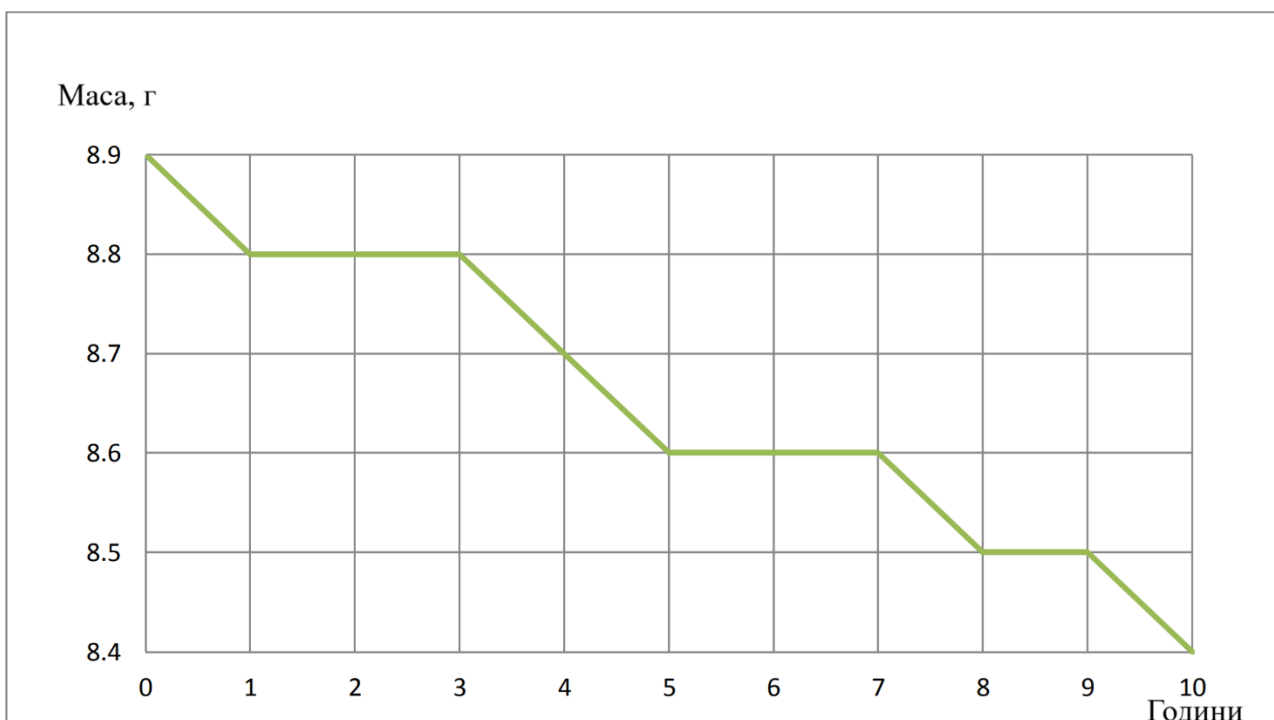


Рис. 2.11. Втрати маси зразка з нанесеним матеріалом Ceramic FHT протягом 10 годин.

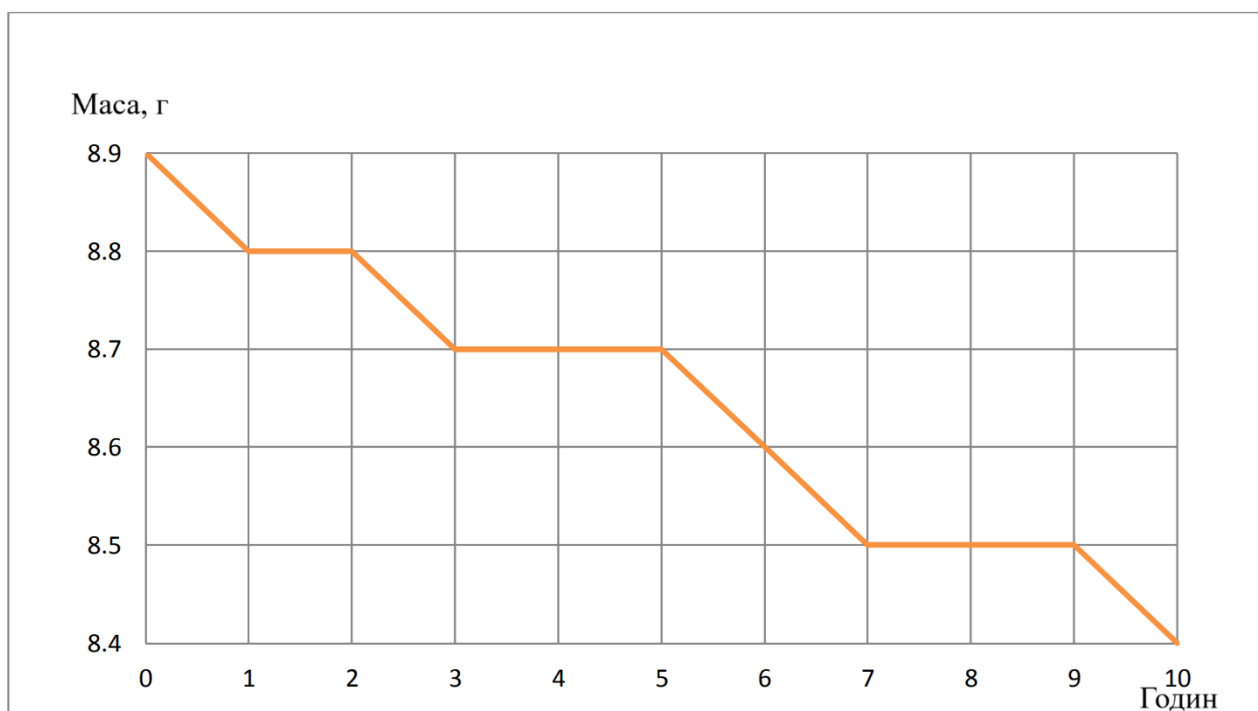


Рис. 2.12. Втрати маси зразка з нанесеним матеріалом Ceramic T протягом 10 годин

Висновок по розділу

Таким чином, залежно від товщини нанесеного шару зносостійкого композиційного матеріалу, можна прогнозувати термін служби відновленого обладнання.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕМОНТНИХ КОМПОЗИТІВ

3.1. Технологічні основи застосування композиційних матеріалів при відновлювальних роботах

Перед сучасними технологіями відновлення обладнання і машин стоїть завдання щодо забезпечення працездатності діючої техніки, без звернення до спеціалізованих ремонтних підприємств.

Можливість застосування холодного зварювання (ХЗ), як основної ремонтно-відновлювальної технології, обумовлюється такими її перевагами.

ХЗ здійснюється на повітрі без використання тиску і нагріву, поза захисним середовищем без застосування спеціалізованого обладнання, а так само не потребує високого рівня підготовки виконавця. У ролі основного

робочого інструменту ХЗ виступає шпатель, який необхідний для створення певної конфігурації шва. Це дає змогу з мінімальними витратами проводити ремонт різного виробничого устаткування, зокрема й важкої техніки, у виробничих умовах промислового підприємства, у непристосованих для ремонту, а також пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях, а також, за необхідності, в польових умовах.

Економічно і технічно ефективним, а часто і єдино здійсненим способом ремонту важкої техніки є здійснення ремонтних робіт за місцем її експлуатації. Водночас транспортування громіздкого обладнання для традиційних способів ремонту, якими є методи наплавлення, термічного зварювання, паяння та інші, є вельми проблематичним. ХЗ дає можливість здійснити з мінімальними витратами відновлення важкої техніки в польових умовах.

Зварний шов ХЗ утворюється з пастоподібної суміші компонентів РКМ.

При цьому полімерна матриця виступає в ролі клейової основи матеріалу і забезпечує адгезію композитів до ремонтної поверхні.

Значна кількість ремонтних композитів мають високу адгезію практично до всього різноманіття як металевих, так і неметалевих машинобудівних матеріалів різного призначення, зокрема функціонального і конструкційного. Присутність у складі композиції наповнювача надає їй нових властивостей, що виявляють технологічні переваги холодного зварювання як перед термічними (традиційними наплавленням, пайкою, зварюванням та ін.), так і клейовими способами утворення з'єднань деталей у відновлювальних роботах. Основними перевагами є:

- значення товщини зварного шва ХЗ є оптимальним (0,5... 1.0 мм) на відміну від потрібного мінімального зазору між сполученими деталями в клейових з'єднаннях. Це дає можливість, використовуючи технологію ХЗ, створювати з'єднання деталей без необхідного геометричного припасування, включно з криволінійними поверхнями сполучень;

- відмова від операції нагріву дає змогу виключити деформацію відремонтованої методом ХЗ деталі та ймовірність утворення термічних напружень. За термічних технологій ремонту важко уникнути подібних негативних явищ, усунення яких створює додаткові труднощі;

- порівняно з клеями композити дають можливість заповнити вироблення устаткування і деталей різних машин глибиною від 10 мм і більше;

- дана ремонтна технологія не призводить до порушення заданого термообробкою рівня фізико-механічних властивостей матеріалу ремонтваної деталі. Це дає змогу відмовитися від додаткового термооброблення відновлених вузлів і деталей, що є обов'язковим після закінчення термічних методів ремонту;

- використання ремонтних композитів дає змогу виготовити цільну деталь методами пластичного деформування на певній стадії полімеризації компаунда, лиття або механічним обробленням затверділого композиту;

- ремонтні композити, на відміну від клеїв, мають цілу низку об'ємних властивостей на рівні таких сплавів, як силумін.

Ремонтно-відновлювальні роботи з використанням полімерних композицій у різних галузях промисловості можна здійснювати за такими напрямками: усунення дефектів литва та зварних швів; ремонт різних видів технологічного та допоміжного обладнання і ємностей; відновлення систем життєзабезпечення міського комунального господарства. Практика застосування ремонтних композитів у різних галузях промисловості, зокрема в аграрній, дає змогу судити про широкі можливості цього технологічного методу.

Нині вони починають застосовуватися в машинобудуванні, авто- і судноремонті, ремонті сільськогосподарських машин, енергетиці, хімічній, нафтопереробній, легкій промисловості, комунальному господарстві, поліграфії, деревообробній і целюлозно-паперовій промисловості.

Технологічний процес застосування ремонтних композитів під час відновлення деталей, вузлів і обладнання загалом відрізняється від енергоємних

техпроцесів (зварювання, паяння, наплавлення, напилення), які він з успіхом може замінити в цілому ряді конкретних випадків.

У таблиці 3.1 представлено технологічний маршрут із переліком обов'язкових операцій, кожна з яких вирізняється своєю специфікою і вимогою обов'язкового виконання певних умов, необхідних для якісного виконання технологічного процесу.

У таблиці 3.1 представлений технологічний маршрут використання композитів, на перший погляд, здається простим, але він має низку специфічних особливостей, які будуть розглянуті пізніше під час опису кожної технологічної операції.

Якісна підготовка поверхні є запорукою успішного виконання ремонту. Поверхня, на яку буде нанесено полімерний матеріал, має бути сухою, чистою і ретельно зачищеною. Попереднє очищення поверхні від бруду і мастила виконується ганчіркою або спеціальними порошкоподібними складами, що вбирають мастило і видаляються потім щіткою. Для видалення залишків мастил з пористої поверхні деталі застосовують нагрівання дефектного місця за допомогою газового пальника або промислового фена.

Таблиця 3.1 – Технологічний маршрут відновлення та ремонту деталей металополімерними матеріалами

№	Найменування операції	Технологічні переходи
1	Підготовка деталі (вузла)	Виправлення форми; Очищення поверхні; Знежирення.
2	Приготування композиції	Вручну; Механізованим способом; За допомогою туб.
3	Нанесення композиції	Вручну (кісточка, шпатель); Механізованим способом.

4	Формування шару композиції	Під тиском; Без тиску; Нерухомі оправки; Рухомі оправки
5	Затвердіння	Холодне; Гаряче; Змішане.
6	Обробка деталі	Зняття задирок і напливів; Механізована обробка.

Зачищення поверхні перед нанесенням матеріалу виконується за допомогою абразивного круга, напилка, наждачного паперу, фрезерування або шляхом використання голкофрези. Найкращий ефект, як показали спеціально проведені випробування, дає обробка абразивним кругом. Це найдоступніший спосіб, що дає змогу виконати зачистку швидко і без застосування спеціальних інструментів або верстатів.

Досить оправку з наждачним каменем закріпити в патроні дреля. У випадках, коли поверхня має сліди іржі, або ж корозійні процеси утворили на поверхні сильні виразки, слід застосувати піскоструминну обробку з використанням грубозернистого піску.

Знежирення поверхні після її зачистки здійснюється або штатним фірмовим знежирювачем "Честер", або ацетоном. Порівняльні випробування цих двох засобів не показали якихось значних відмінностей в адгезійній міцності, утворених після знежирення з'єднань полімерних матеріалів з металом. Водночас штатний знежирювач може дати змогу утвореному адгезійному з'єднанню триваліший час зберігати початкову міцність завдяки запобіганню утворенню вогнищ корозії на поверхні металу під шаром полімеру. Цьому сприяють спеціальні добавки, що містяться у фірмовому знежирювачі.

Змішування металополімерних матеріалів виконується або на гладкій поверхні металу, скла або пластику (пастоподібні композиції), або в спеціальному посуді (для рідкотекучих композицій) у пропорціях, зазначених на

етикетках упаковок обох компонентів. Перед змішуванням доцільним видається попереднє перемішування кожного компонента у своїй ємності з метою отримання однорідного складу кожного компонента. Особливо важливо виконувати ці умови, коли використовується лише частина матеріалу з упаковки. Сказане не стосується компонентів, що мають велику в'язкість. У разі використання всієї упаковки одномоментно, змішування можна виконувати безпосередньо в одній із ємностей з одним із компонентів. Перемішуючи обидва компоненти шпателем протягом 3-5 хв, необхідно домагатися отримання однорідної за консистенцією і за кольором композиції.

У разі перемішування об'ємів понад 0,5 кг доцільно використовувати спеціальну мішалку (стрижень із лопатями), яку вставляють у патрон ручного дреля або свердлильного верстата.

Після перемішування бульбашки повітря, що утворилися, видаляють шляхом розтирання отриманої суміші тонким шаром на пластині (пастоподібний матеріал) або переливанням тонким струменем в іншу ємність (рідиннотекучий матеріал). Після перемішування починається відлік часу вироблення матеріалу. Кожен матеріал має свою тривалість процесу полімеризації, і в разі скорочених термінів (30-40 хв.) необхідно прискорювати всі процеси, пов'язані безпосередньо зі змішуванням, видаленням повітря з суміші та нанесенням.

Для прискорення застигання матеріалів відновлювані деталі можуть бути поміщені в термостат і нагріті до температури 50...60°C. Можливий підігрів ремонтованої ділянки електролампю великої потужності, паяльною лампою або промисловим феном. Термін застигання матеріалу при цьому скорочується у 2-3 рази.

Деякі полімерні матеріали на епоксидній основі мають негативну властивість розігріватися під час затвердіння. Причому чим більша кількість матеріалу замішується, тим коротший час вироблення і тим вища температура саморозігріву. Цю властивість епоксидних смол повністю нейтралізовано в матеріалах таких фірм як "Diamant metallplastic GMBH", "Devcon", "Belzona",

"Честер Молекуляр". Тому їхнє застосування дає змогу розв'язувати багато технологічних проблем, пов'язаних із нанесенням матеріалу без урахування згаданого саморозігріву. Затвердіння таких матеріалів за температури 20-24°C настає через 2-5 годин (залежно від різновиду матеріалу) [6,9].

Формування властивостей композиційного прошарку шляхом його затвердіння відбувається за певним принципом. На рис. 3.1 показано характер зміни міцності під час з'єднання сталевих деталей із використанням композиційного матеріалу "Chester Ceramic - T".

Ділянка ($t_0 - t_{cm}$) характеризує період часу, протягом якого проводять змішування компонентів. Ділянка ($t_n - t_j$) визначає тривалість часу, протягом якого необхідно нанести композит і провести монтаж з'єднання. Час t_j визначає момент часу, після якого композит не може бути використаний.

У момент часу t_0 здійснено поєднання двох компонентів композиційного матеріалу, тобто основи та затверджувача, і розпочато перемішування компонентів. Період часу ($t_{cm} - t_j$) визначає життєздатність композиції, тобто період часу, протягом якого композит може бути нанесений на поверхню з'єднання. Далі в'язкість композиції наростає в результаті зростання лінійних (розгалужених) молекул, а в момент $t_{схв}$ починається утворення поперечних зв'язків між молекулами, що в результаті надалі призводить до підсумкової полімеризації композиту і набору остаточної міцності.

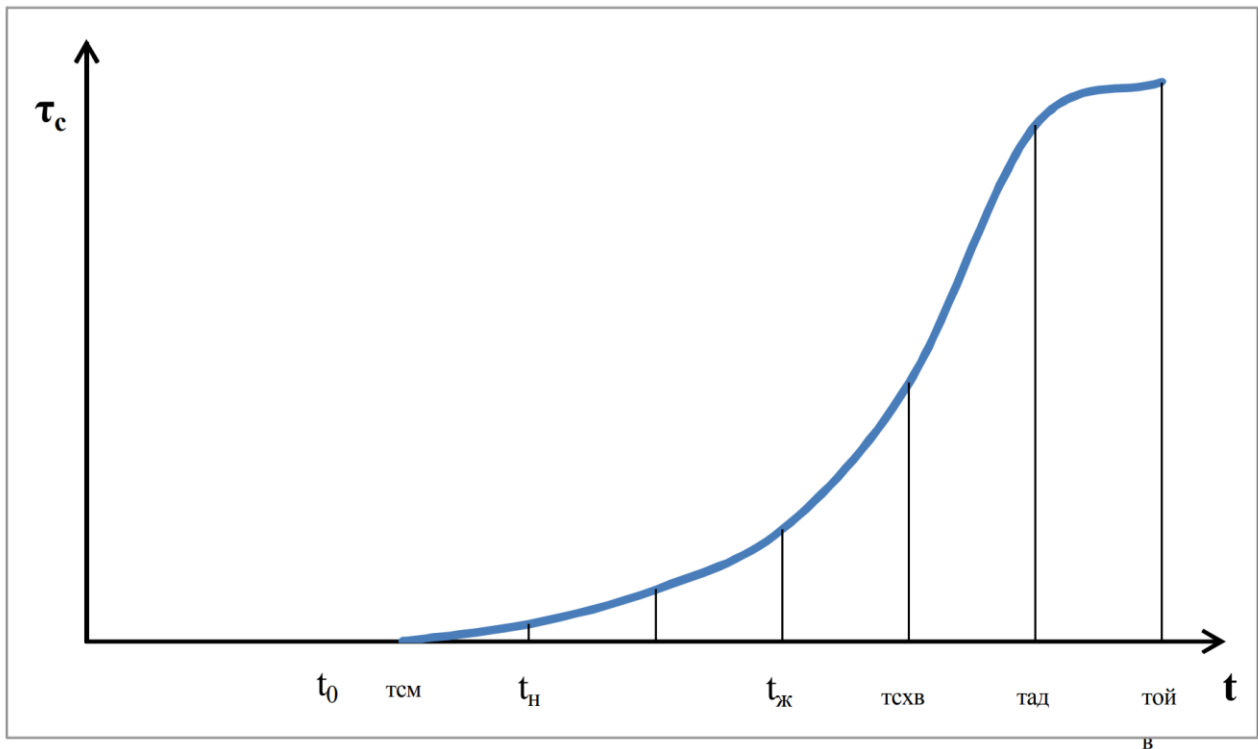


Рис. 3.1. Зміна міцності, залежно від часу полімеризації композиту: t_0 - початковий момент змішування компонентів; $t_{см}$ - час остаточного перемішування; t_n - момент нанесення композиту на поверхню деталі; $t_{ж}$ - час життєздатності суміші; $t_{схв}$ - момент схоплювання; $t_{ад}$ - час часткового затвердіння; $t_{отв}$ - час повного затвердіння.

Нанесення матеріалу є однією з основних операцій, що визначають як якість утворених адгезійних зв'язків, так і довговічність відновленої деталі. Перший шар металополімеру ретельно втирається лопаткою або шпателем у поверхню відновлюваної деталі. Необхідність у втиранні першого адгезійного шару підтверджується ілюстрацією цього процесу на рис. 4.2. Попадання під час такого втирання полімерного матеріалу в западини і мікронерівності на поверхні деталі, що відновлюється, з одного боку, забезпечує поліпшення адгезії, а з іншого - виключає ймовірність утворення вогнищ корозії в цих западинах, не заповнених полімерним матеріалом. Усі наступні шари наносяться без докладання будь-яких зусиль, унеможливаючи при цьому утворення порожнин, заповнених повітрям. Використовуються для цих цілей пластикові, металеві шпателі або лопатки. У фахівців-ремонтників великою популярністю

користується такий інструмент як столовий ніж - жорсткий і водночас зручний шпатель для перемішування, втирання і нанесення матеріалів.

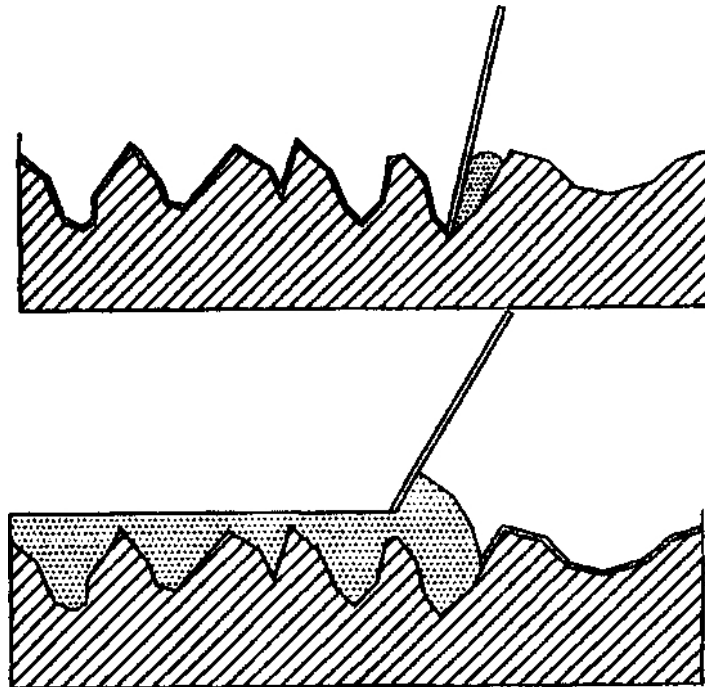


Рис. 3.2. Втирання першого шару полімерного матеріалу (а) і формування наступних шарів (б)

Дуже часто виникає питання - чи можна наносити ще один шар металополімерного матеріалу по раніше нанесеному його шару? Якщо раніше нанесений матеріал ще не затвердів, то наступний шар можна наносити, будучи впевненим, що отримаємо однорідний гомогенний шар полімеру. Якщо ж полімеризація раніше нанесеного шару вже відбулася, то для з'єднання шару, що знову наноситься, зі старим, поверхню останнього необхідно зачистити і знежирити, як описано вище, і потім втерти шар, що знову наноситься, за допомогою шпателя.

Формування поверхні нанесеного матеріалу виконується різними способами, залежно від тих цілей, які переслідуються під час відновлення дефектної ділянки. Наприклад, коли немає особливих вимог до якості поверхні, покладений на дефектне місце полімер можна сформувати точковими притисненнями ганчірки, змоченої в знежирювачі.

Якщо поставлено за мету отримати порівняно гладку поверхню, то застосовують, наприклад, поліетиленову плівку і з її допомогою формують поверхню. Для отримання шліфованої поверхні необхідно докласти до неї шліфовану пластинку або шаблон, заздалегідь оброблені антиадгезивною сумішшю - відокремлювачем. Як такий матеріал використовують рідину або пастоподібні склади на основі тефлону.

Наприклад, фірма "Diamant metallplastic GMBH" рекомендує застосовувати відокремлювач "Trennmitell" (рідкий), "Trennmitell" (аерозоль) і "Trennmitell" (пастоподібний), "Честер Молекуляр". Поверхня шаблону знежирюється, просушується і лише потім відокремлювач наноситься одним або двома шарами. У разі нанесення двох шарів, після нанесення першого витримується пауза до 15 хв. Після затвердіння відокремлювача, вкрита ним поверхня, за необхідності, полірується м'якою тканиною.

Затверділий металополімерний матеріал можна обробляти будь-яким із відомих способів, включно зі шліфуванням або обробкою лезовим інструментом.

Після нанесення шару композиції на поверхню деталей шар матеріалу необхідно піддати формуванню, тобто силовому впливу для надання необхідної форми. За допомогою методів динамічного або статичного формування з використанням композитів можна отримувати як зовнішні, так і внутрішні циліндричні поверхні. Отримання таких поверхонь показано на рис. 3.3

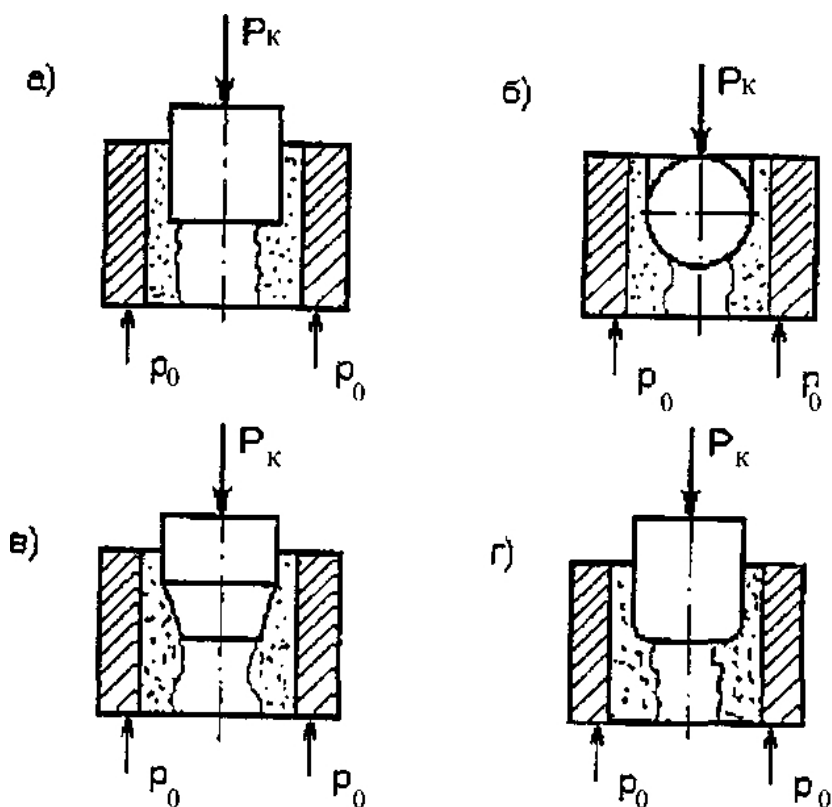


Рис. 3.3. Схема динамічного формування шару композиції шляхом використання калібрів (P_k – сила калібрування. P_0 – опорна реакція): а) циліндричним калібром; б) сферичним калібром; в) циліндричним калібром із конусною фаскою; г) циліндричним калібром зі сферичною фаскою.

Зусилля, що витрачаються на переміщення калібрів залежить від геометричних розмірів циліндричних поверхонь, відповідно до чого визначається швидкість переміщення калібрів. Експерименти показали, що найкращу якість поверхні було отримано за мінімального шару композиту в 1 мм за дисперсності частинок наповнювача не більше 50 мкм.

На рис. 3.4 представлено залежність між зусиллям формування композиції та швидкістю переміщення калібру. При цьому найбільша чистота поверхні досягається затвердінням протягом 2 години 20 хвилин.

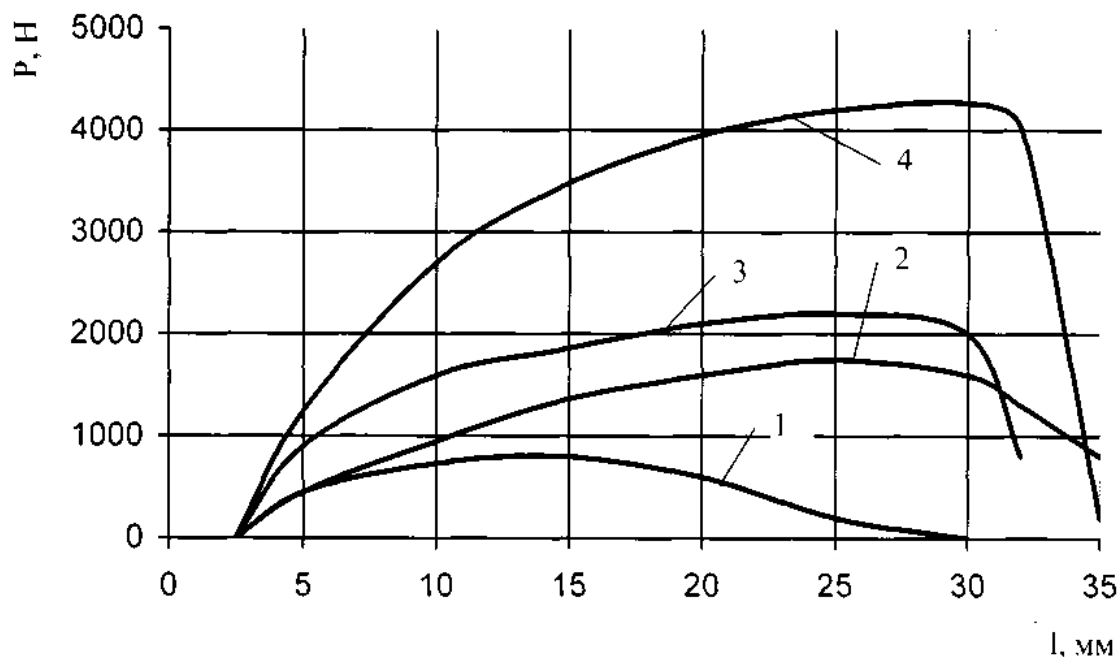


Рис. 3.4. Залежність між зусиллям і переміщенням калібру під час динамічного формування шару композиції: P – зусилля продавлювання калібру діаметром 30 мм; 1 – переміщення калібру. Час затвердіння; 1 – 1 год 40 хв; 2 – 2 год 20 хв; 3 – 2 год 30 хв; 4 – 2 год 15 хв.

На рис. 3.5 представлено характер режимів формування циліндричної поверхні необхідних геометричних розмірів.

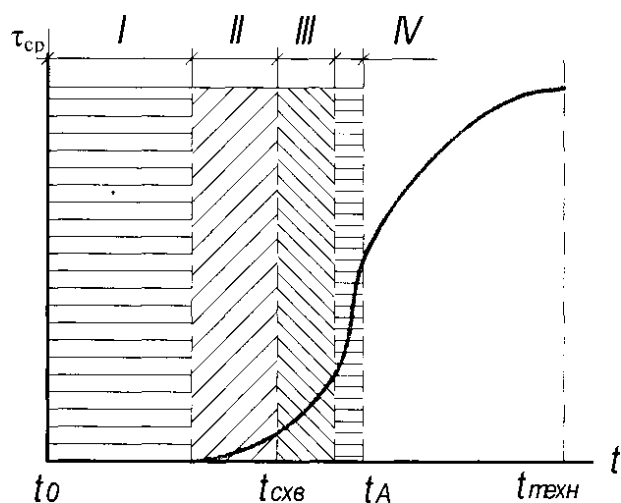


Рис. 3.5. Режими формування шару композиції: $\tau_{\text{ср}}$ – середнє руйнівне напруження при зсуві; t – час полімеризації композиту; A – момент переходу від когезійного до адгезійного характеру руйнування.

У результаті змішування компонентів і нанесення композиту на циліндричну поверхню обраної деталі формування проходить по 4-м ділянкам: I - нанесення композиції та з'єднання деталей; II – статичне формування та склеювання деталей; III – оптимальна для динамічного (розмірного калібрування) формування – після $t_{схв}$ IV – недоцільна для формування (у момент близький до t_A) Різниця між діаметром ремонтного отвору (після полімеризації) і діаметром калібру перебуває залежно від зони формування та під час формування в першій зоні становить від 0,1 до 0,2 мм; у другій - 0,05 мм; у третій – від 0,01 до 0,03 мм. Під час формування композиту в 4-й зоні покриття руйнується.

Теплова обробка деталей. Використання нагріву в процесі затвердіння композиційного матеріалу призводить до значного скорочення часу полімеризації. Додатковий нагрів може бути здійснений безпосередньо на місці з'єднання (фенами), або в сушильних шафах. При цьому температура нагріву повинна лежати в межах 60-90 °С. При цьому час затвердіння скорочується в 5-6 разів.

Нагрівання використовуваної композиції може здійснюватися різними способами:

а) підведення джерела тепла здійснюється в момент з'єднання деталей $t_0 < t_H < t_{схв}$ (гаряче затвердіння);

б) підведення тепла здійснюється після моменту схоплювання, але до моменту технологічного затвердіння $t_{схв} < t_H < t_{техн}$;

в) нагрівання виконується безпосередньо після технологічного затвердіння $t_H < t_{техн}$, (змішане затвердіння).

Під час відновлення деталей найприйнятнішими є дві останні схеми нагріву, оскільки під час використання першої схеми композиція стає малов'язкою, що на похилій поверхні деталі призводить до стікання композиції.

Практика показує, що найдоцільніше забезпечити затвердіння компаунда за температури докiлля до затвердiння, а потiм проводити додатковий нагрiв i витримку за вищою температурою.

Оцiнювання впливу виду нагрiву на мiцнiсть проводили на зразках, з'єднаних композицiєю "Chester Ceramic - T". З'єднанi зразки пiддавалися нагрiванню протягом 1 години. Термодформацiйнi кривi з'єднань показують, що ступiнчасте нагрiвання зразкiв (подача тепла пiсля $t_{схв}$ i $t_{техн}$) дає пiдвищення τ_c . Тож, у подiбному випадку рiвень якостi з'єднання пiдвищився i виявився вищим, нiж у з'єднаннях, що твердiли за кiмнатної температури.

Вплив часу затвердiння за постiйної температури (120°C) на термодформацiйнi кривi показано на рис. 3.6.

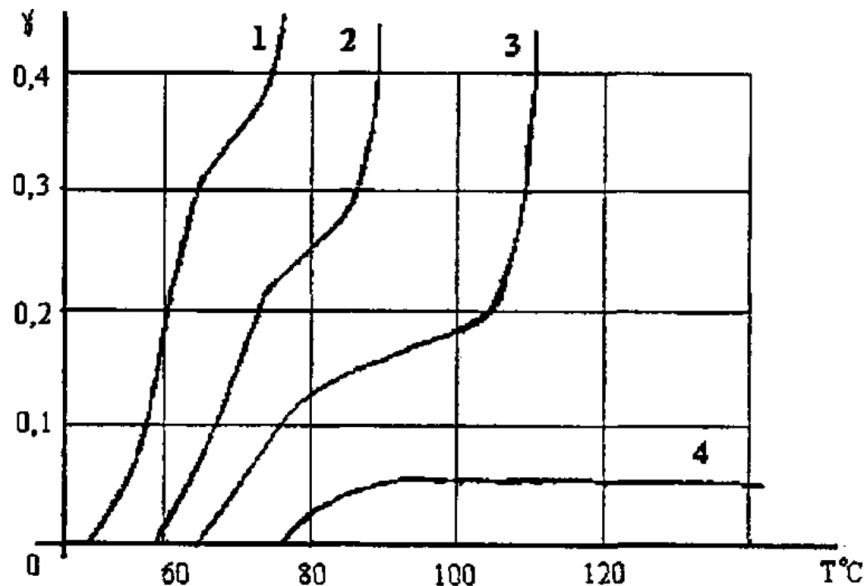


Рис. 3.6. Термодформацiйнi кривi клейових з'єднань, γ – вiдносний зсув у шарi композиту: T – температура зразка в частинах маси: основа – 50%, затверджувач – 50%. Час затвердiння зразкiв при 120°C : 1-2 год., 2-2 год. 3-3 год., 4-4.

Механiчна обробка пiсля затвердiння композиту проводиться з метою видалення задирок, напливiв, зняття гострих кромок. Основне призначення механiчної обробки це видалення надлишкiв матерiалу, забезпечення вiзуальної якостi та функцiональних характеристик з'єднання. Механообробка може проводитися ручним iнструментом, механiзованим, або на металорiзальному

обладнанні залежно від вимог до одержуваної поверхні. Основною вимогою під час обробки поверхонь, виконаних із композиційних матеріалів, є забезпечення певних фізико-механічних властивостей. Від них залежать режими різання і геометричні характеристики інструменту. Так теплостійкість і теплопровідність композитів обмежують швидкості різання, а їхня низька твердість вимагає використання інструменту з гострою різальною кромкою.

Використання спеціальних насадок під час застосування ручного механізованого інструменту, що працює за високих швидкостей, так само може призвести до негативних явищ, які можуть проявитися в процесі експлуатації.

Під час обробки матеріалів, що вирізняються зниженою твердістю, до яких належать і композити, до ріжучого інструменту висуваються певні вимоги:

- задній кут (α) має бути більшим порівняно з інструментом для обробки металів. Це забезпечить стійкість і його довговічність. Для обробки як пластмас, так і композитів задній кут α повинен перебувати в межах 12-20°;
- передній кут γ так само більший у матеріалів типу пластмас і композитів, ніж у металів і зазвичай становить 15-20°;
- відведення стружкової канавки так само робиться глибшим і ємнішим внаслідок більшої кількості стружки і можливості налипання матеріалів.

Слід також враховувати, що обробка тонкошарових антикорозійних покриттів, виконаних з композиційних матеріалів, є скрутною та неефективною, тому що в тонкому шарі (0,3 - 1,0 мм) з'являються небажані напруження, що призводить до деформації композицій.

Під час ручного оброблення поверхонь із використанням ріжучого та зачисного інструменту можливе відшаровування покриттів унаслідок надмірних зусиль, чого слід всіляко уникати.

Оцінюючи загалом методологію застосування композиційних матеріалів у ремонтно-відновлювальних роботах, слід наголосити на обов'язковості суворого виконання всього комплексу перерахованих вище робіт і враховувати наведені вище особливості технології. Це забезпечить високу якість і надійність як

складальної технології, так і технології ремонтно-відновлювальних із застосуванням композиційних матеріалів.

3.2 Методи усунення основних видів дефектів композиційними матеріалами

Хоча основним завданням дисертаційного дослідження є розробка методу усунення дефектів, що виникли на устаткуванні від дії абразивного, корозійного та кавітаційного зносу, проте аналіз дефектів свідчить про їх різноманіття. Тому доцільно розглянути яким чином забезпечується їх усунення.

Незважаючи на різний характер дефектів деталей, що усуваються металополімерними композиціями, схеми технологічного процесу відновлення деталей у загальному плані однотипні й можуть бути представлені схемою, показаною на рис. 3.6 [2]. Особливостями цього процесу є необхідність приготування олігомерної композиції на робочому місці, з одного боку, а з іншого – обмежена кількість композиції, що готується, для одноразового застосування з огляду на її малу життєздатність.

Великий обсяг ремонтно-відновлювальних робіт проводять під час усунення ливарних дефектів, під час відновлення поверхонь, що зазнали абразивного, корозійного, кавітаційного зносу, а також під час герметизації тріщин у трубопроводах, корпусах різних агрегатів, ємностях тощо.

Герметизація тріщин у корпусних деталях. Початковим етапом розв'язання цієї задачі є попереднє зачищення тріщини, визначення її довжини та засвердлювання кінців тріщини свердлом Ø 3-4 мм, як показано на (рис. 3.7 а). Потім виконується оброблення тріщини абразивним або лезовим інструментом аналогічно обробленню шва V- подібного перерізу під зварювання. При цьому зони шириною 20-30 мм, що примикають до шва, зачищають по обидва боки шва. Поверхню цих зон бажано загрубити, роблячи зарубки зубилом або невеликі заглиблення свердлом. Якщо довжина тріщини перевищує 100 мм, то

виконують фіксацію тріщини у двох варіантах. Перший - встановлення гужонів (рис. 3.7 б) безпосередньо в тріщину через 30-40 мм (засвердлювання, нарізування різблення, угвинчування гвинта з надпиляною голівкою до упору і її зрізання). Другий варіант полягає в механічному закріпленні тріщини шляхом установки металевих пластин і з'єднанні їх з корпусом болтами по обидва боки тріщин.

Ці пластини встановлюються через 70-80 мм і можуть поєднуватися зі встановленими раніше гужонами. Така механічна фіксація тріщини дасть змогу полімерному матеріалу зберегти адгезійні зв'язки з металом навіть за умов значного нагріву корпусу і подальших температурних розширень матеріалу корпусної деталі. Після механічної фіксації тріщини проводиться ще раз зачистка шва разом із кріпильними елементами, їх знежирення і нанесення першого шару полімерного матеріалу шляхом його втирання в метал. Потім накладаються наступні шари матеріалу, що закривають всі скріплювальні елементи, і формується шов шляхом накочування його через поліетилен, або шляхом точкового притиснення ганчіркою, змоченою в ацетоні.

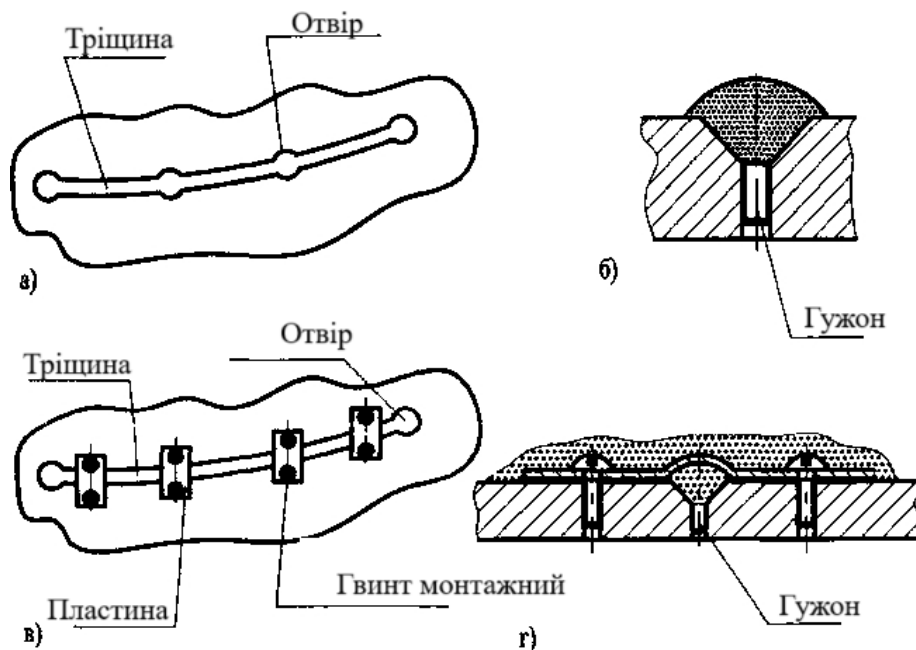


Рис. 3.7. Герметизація тріщини в корпусній деталі: а) засвердлювання кінців тріщини та отворів під гужон; б) установлення гужона; в) установлення закріплювальних пластин; г) герметизація тріщини

Аналогічним чином можна відновити чавунні корпусні деталі, що розкололися внаслідок впливу випадкових ударних навантажень.

Спочатку необхідно виконати механічне закріплення частин корпусної деталі, а потім її загерметизувати за допомогою полімерного матеріалу.

Якщо навантаження, що зруйнували деталь, не повторюватимуться, то можна гарантувати її працездатність протягом тривалого часу.

Ремонт ливарної раковини. У разі відновлення раковин на зовнішній поверхні литих виробів або раковин, що розкрилися на оброблюваній поверхні, доцільніше застосувати матеріал "Честер Метал Супер. Технологія відновлення такого виду дефекту наводиться нижче.

Спочатку виконується оброблення дефекту під нанесення полімерного матеріалу, як показано на рис. 3.8.

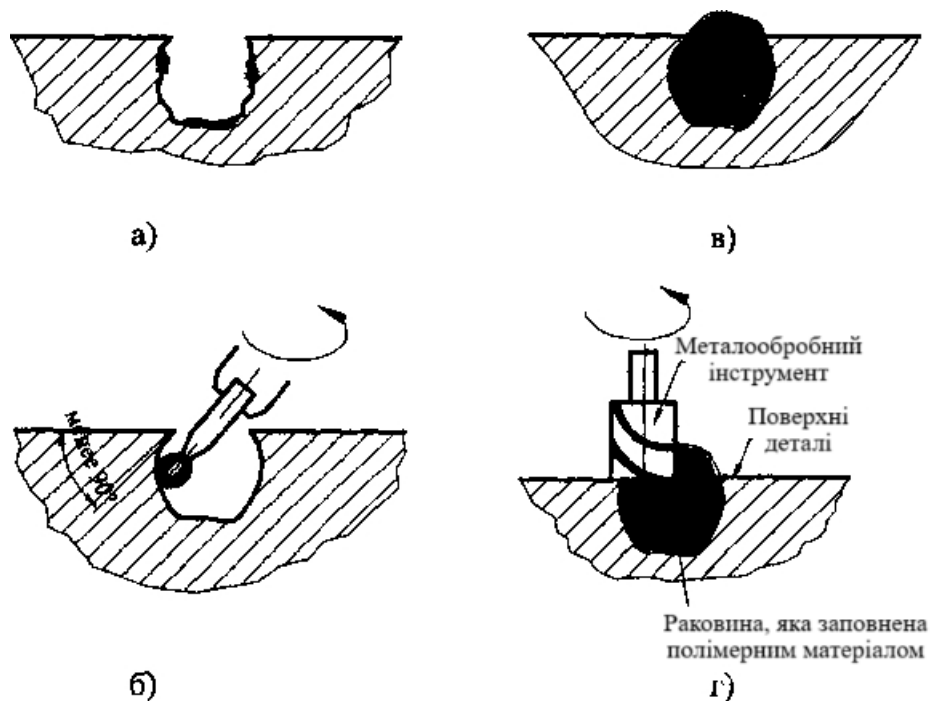


Рис. 3.8. Послідовність ремонту деталі з раковиною: а) раковина зі слідами забруднень; б) обробка дефектної ділянки; в) заповнення раковини; г) обробка металополімеру після його затвердіння.

Таке оброблення найзручніше здійснити за допомогою ручної фрезерної машинки типу "Гном" або електродриля із закріпленим у ньому інструментом у вигляді бор-фрези, виконаної з твердого сплаву.

Дефектне місце очищається від стружки штатним фірмовим знежирювачем або ацетоном. Після знежирення необхідно дати знежирювачу випаруватися або необхідно просушити раковину теплим повітрям. Потім у ємність із затверджувачем додається порошок, і обидва компоненти "Честер-супер" перемішуються. Співвідношення компонентів зазначено на упаковці, однак, немає необхідності дотримуватися зазначеної пропорції. Допускається відхилення від пропонованих пропорцій на 8-10%, що не позначається на механічних характеристиках затверділого композиту.

Перший адгезійний шар матеріалу ретельно втирається шпателем у поверхню дефектної ділянки. Інші шари можуть наноситися шпателем без зусиль або просто наливатися в порожнину раковини. Поверхню нанесеного матеріалу можна сформувати за допомогою шаблону, що має гладку поверхню. Для цього шаблон обробляється відокремлювачем і після висихання притискається до дефектного місця. Після застигання матеріалу (2-3 години) шаблон видаляють шляхом докладання зусилля в напрямку, паралельному відновлюваній площині.

Якщо шаблон для формування поверхні не використовували і матеріал нанесено з надлишком, то через 2-3 години композит може бути піддано токарній або будь-якій іншій обробці на режимах, за допомогою яких обробляють пластмаси (наприклад, швидкість різання 40-55 м/хв; глибина різання 0.5-1,0 мм, подача 0,1-0,2 мм/об.). Навантаження деталі здійснюється через 24 години.

Захист обладнання та металоконструкцій від корозійного, ерозійного зносу, кавітації та хімічного впливу. Для захисту внутрішньої поверхні насосів, засувки та інших корпусних деталей залежно від середовища, яке перебуває всередині корпусу в процесі роботи, застосовуються такі матеріали:

1. Для захисту від впливу хімічних середовищ – матеріали: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector E.

2. Для захисту від кавітаційного зносу – матеріали: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector B, C, E.

3. Для захисту від корозії – матеріали: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector A, D.

4. Для захисту від абразивного зносу – матеріали: Chester Metal Ceramic T, F, FSL, FHT, Chester Protector B, C, CK, CF, E.

Перед застосуванням того чи іншого матеріалу поверхню, яка буде захищена полімерним матеріалом, піддають піскоструминній обробці або обробці шліфувальними машинками, а також видалячем іржі. Потім поверхні ретельно знежирюють, просушують і на них наносять шпателем або валиком той чи інший матеріал. Для ретельного втирання полімерного матеріалу в поїдену кородовану поверхню доцільно застосовувати гумові шпателі, що забезпечують більш повний контакт першого шару покриття з нерівною металевою поверхнею [1].

3.3 Ефективність технологічних методів відновлення обладнання з використанням композитних матеріалів

Нині на аграрних підприємствах парк металорізальних верстатів і допоміжного обладнання зношений на 50-70% і не завжди є можливість придбання нового обладнання. Однак застосування композиційних матеріалів у ремонтно-відновлювальних роботах дає змогу продовжити можливість експлуатації зношеного обладнання та збільшити ресурс його роботи, що заощадить значні кошти підприємством. Технологія ремонту з використанням композитів є універсальною і може застосовуватися практично в усіх галузях: від комунальної сфери до аерокосмічної. Цю технологію вирізняють безпека та відсутність енерговитрат на проведення відновлювальних робіт.

Розгляд основних технологій, де для відновлення використовували композиційні матеріали, дає змогу судити про зниження собівартості ремонту, як

порівняти з традиційними технологіями (зварювання, паяння, наплавлення, напилення), і високу ефективність ремонтних технологій.

Це стосується відновлення зношених валів, зокрема великогабаритних, посадкових місць підшипників, відновлення герметичності корпусних деталей, гідроциліндрів, напрямних ковзання металорізальних верстатів, зношених поверхонь, трубопроводів у системах водо-, тепло-, газопостачання.

Ерозійно-корозійні руйнування внутрішніх поверхонь обладнання, робочих коліс і шнеків можуть бути відновлені без механічної обробки безпосередньо на місці розташування агрегату. При цьому тривалість експлуатації таких агрегатів може бути істотно збільшена завдяки застосуванню прогресивних матеріалів із керамічними наповнювачами, що перешкоджають інтенсивному зносу поверхонь.

Нині дедалі ширше впроваджують технологію застосування композитів під час ремонту обгумованих, великогабаритних, металевих, гранітних валів у целюлозно-паперовій, поліграфічній та інших галузях промисловості [19].

Можливості широкого впровадження технологій застосування компаундів під час відновлення обладнання пояснюються насамперед:

- відносною дешевизною полімерних матеріалів порівняно з металами;
- простотою їх застосування;
- універсальністю при відновленні деталей з кольорових і чорних металів, бетону, дерева, пластмас, скла та ін.;
- високою хімічною стійкістю полімерів до різних агресивних середовищ, зокрема масел, кислот, лугів, нафтопродуктів, морської води тощо.
- можливістю отримання різних, часом навіть унікальних фізико-механічних і хімічних властивостей полімерних композитів, які часто за своїми експлуатаційними показниками перевершують метали;
- малою питомою масою полімерів;
- шумо- і вібропоглинанням при їх застосуванні в конструкціях механізмів і машин;

- антифрикційними та електроізоляційними властивостями.

Ефективність застосування ремонтних композитів може бути підтверджена багатьма прикладами. Ці роботи за собівартістю ремонту становлять від 5 до 30% від застосування традиційних високоенергетичних методів зварювання, пайки, наплавлення, напилення.

Висновки по розділу

1. Розроблено технологічні методи застосування РКМ для відновлення зношених поверхонь. Показано переваги технологічного методу холодного зварювання та широкі можливості використання ремонтних композитів.

2. Надано рекомендації щодо проведення підготовчих робіт з ремонтною поверхнею, використання необхідного інструменту та подальшої обробки відновленої поверхні для досягнення високої якості ремонтних робіт.

3. Розроблено методи усунення основних видів дефектів композиційними матеріалами.

4. Розроблено технологічний процес проведення ремонтно-відновлювальних робіт з використанням РКМ при відновленні різних дефектів обладнання аграрної галузі. Надано пропозиції щодо використання конкретних видів матеріалів у цих роботах. Наведено перелік можливих робіт із застосуванням зносостійких композитів.

5. Досліджено ефективність використання композитних матеріалів під час відновлення різних видів обладнання, а також перераховано переваги застосування такої ремонтної технології.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що найбільший негативний вплив на продуктивність обладнання аграрної галузі чинить знос поверхонь, схильних до абразивного, корозійного, кавітаційного видів зносу.

Досліджено запропоновані для ремонту різних видів обладнання композиційні матеріали, проведено аналіз можливостей їхнього застосування під час відновлювальних робіт і встановлено, що найоптимальнішими для усунення різних видів зносу є композити з керамічними наповнювачами.

Проведено дослідження основних видів зносу, оцінено вплив кожного виду на знос поверхонь, що піддаються гідравлічному впливу газоповітряних і водних середовищ, і ступінь руйнування поверхонь із різних матеріалів у процесі експлуатації обладнання.

Розроблено методику випробувань і проведено комплекс експериментальних досліджень з визначення зносостійкості композиційних матеріалів з керамічними наповнювачами.

Розроблено методи відновлення основних деталей і вузлів технологічного та допоміжного обладнання аграрного комплексу, а також систем водо- і тепlopостачання господарства, розроблено технічну документацію з використання запропонованої технології та надано пропозиції щодо широкого застосування в різних галузях промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляєв С. А., Пєсков А. В. Композитні матеріали в машинобудуванні: Навчальний посібник. Київ: Політехніка, 2021. 254 с.
2. Кузнєцов М. І. Сучасні технології виробництва полімерних композитів. Харків: Техніка, 2019. 312 с.
3. Євдокимов, В. П. Композитні матеріали на основі полімерів: властивості та застосування. Одеса: Наука і техніка, 2020. 198 с.
4. Патрушев В. О., Гончарук Р. М. Застосування композитних матеріалів у транспортному машинобудуванні. Машинобудування та матеріалознавство. 2020. № 5. С. 35–41.
5. Смірнов П. Л. Технології створення вуглепластиків для авіаційної промисловості. Вісник авіаційної техніки. 2022. Т. 18, № 2. С. 123–128.
6. Іваненко Г. С. Дослідження властивостей армованих композитів // Технічна механіка. 2021. № 3. С. 45–52.
7. Шевчук М. О. Виробництво склопластиків: сучасні тенденції та технології. Львів: Світ, 2022. 270 с.
8. Пилипенко О. В. Композитні матеріали: методи дослідження та аналізу. Київ: НТУУ "КПІ", 2021. 156 с.
9. Семенюк Л. В. Вуглепластики: властивості, особливості застосування. Дніпро: Ліра, 2018. 148 с.
10. Коваленко А. І. Технологія переробки полімерних композитів // Вісник машинобудування. 2020. № 2. С. 87–92.
11. Gibson, R. F. Principles of Composite Material Mechanics. Boca Raton: CRC Press, 2016. 610 p.
12. Mallick, P. K. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. Boca Raton: CRC Press, 2008. 638 p.

13. Strong A. B. Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods, and Applications. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2008. 560 p.
14. Hull D., Clyne T. W. An Introduction to Composite Materials. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. 326 p.
15. Campbell F. C. Structural Composite Materials. Materials Park: ASM International, 2010. 528 p.
16. Jones R. M. Mechanics of Composite Materials. Philadelphia: Taylor & Francis, 1998. 538 p.
17. Carlsson L. A., Adams D. F. Experimental Characterization of Advanced Composite Materials. Boca Raton: CRC Press, 2014. 380 p.
18. Kaw A. K. Mechanics of Composite Materials. Boca Raton: CRC Press, 2005. 466 p.
19. Chawla K. K. Composite Materials: Science and Engineering. New York: Springer, 2012. 542 p.
20. Bunsell A. R., Renard J. Advanced Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications. Woodhead Publishing, 2013. 480 p.