

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»

на тему: «Розроблення технології відновлення деталей автотракторної техніки
композиційними матеріалами»

КРМ.133ГМмд(ОНП)_21.28.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за міждисциплінарною
освітньо-науковою програмою
*«Сервісна інженерія в
агропромисловому виробництві»*
за спеціальностями *133 Галузеве
машинобудування, 208 Агроінженерія*
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМ_мд_21[2](ОНП)
ШМАТКО Ярослав

Керівник: к.т.н., доцент
ГОРБЕНКО Олександр

Рецензент: д.т.н., професор
ШЕЙЧЕНКО Віктор

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту
Міждисциплінарна освітньо-наукова програма
«Сервісна інженерія в агропромисловому виробництві»
Спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія»
Ступінь вищої освіти магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри агроінженерії
та автомобільного транспорту,
канд. техн. наук, доцент,
Сергій ЛЯШЕНКО
04 листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
ШМАТКО Ярослав

1. Тема роботи: *«Розроблення технології відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами»*, керівник роботи **канд. техн. наук, доцент ГОРБЕНКО Олександр**, затверджено засіданням вченої ради інженерно-технологічного факультету, протокол №3 від 24.10.2025 р.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – 11 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: *аналіз літературних джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; аналіз літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира Вернадського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за тематичним спрямуванням.*

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

Розділ 1. *Аналіз стану питання відновлення деталей автотракторної техніки.*

Розділ 2. *Обґрунтування вибору композиційних матеріалів для відновлення деталей.*

Розділ 3. *Розробка технологічного процесу відновлення деталей композиційними матеріалами.*

Розділ 4. *Оцінювання технологічної та економічної ефективності запропонованої технології.*

Розділ 5. *Охорона праці та екологічна безпека під час відновлення деталей композиційними матеріалами.*

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: 1. *Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.* 2. *Схема приварювання металевих порошків.* 3. *Залежність плинності порошків від розміру часток.* 4. *Вплив зусилля стиснення електродів на міцність з'єднання покриття зі сталлю 45.* 5. *Моделі розташування зерен.* 6. *Вплив зусилля стиснення електродів на міцність з'єднання покриття зі сталлю 45.* 7. *Технологічні режими приварювання металевих порошків.* 8. *Висновки.*

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Практична реалізація розробок	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Петро МАКАРЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7. Дата видачі завдання 04 листопада 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір і затвердження теми роботи	04.11.25	
2	Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу	05-30.11.25	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи	01-31.12.25	
5	Виконання розділів роботи	01.01.26-10.05.26	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	11-15.05.26 15-19.05.26	
8	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
9	Нормалізаційний контроль		
10	Захист кваліфікаційної роботи	20-26.05.26	

Здобувач вищої освіти _____ Ярослав ШМАТКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Олександр ГОРБЕНКО
(підпис)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	8
ABSTRACT.....	10
ВСТУП.....	12
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ.....	18
1.1 Роль ремонтного виробництва у забезпеченні працездатності автотракторної техніки	19
1.2 Особливості експлуатації деталей автотракторної техніки	24
1.3 Класифікація деталей автотракторної техніки за умовами роботи та характером навантаження.....	28
1.4 Основні види зношування деталей машин	36
1.5 Характерні дефекти деталей автотракторної техніки	42
1.6 Традиційні способи відновлення зношених деталей	47
1.7 Переваги та недоліки традиційних методів ремонту	51
1.8 Перспективи використання композиційних матеріалів у ремонтному виробництві.....	54
1.9 Аналіз вимог до відновлених деталей автотракторної техніки	57
1.10 Висновки до розділу 1.....	61
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	63
2.1 Загальна характеристика композиційних матеріалів ремонтного призначення	63
2.2 Структура та властивості полімерних і металополімерних композицій.....	64
2.3 Класифікація композиційних матеріалів за типом матриці та наповнювача.....	65
2.4 Вимоги до матеріалів для відновлення посадкових, опорних і робочих поверхонь	67
2.5 Вплив наповнювачів на фізико-механічні властивості композицій.....	68
2.6 Адгезійна міцність як основний показник працездатності відновленого шару.....	70
2.7 Зносостійкість композиційних покриттів в умовах тертя та абразивного впливу.....	70
2.8 Технологічність застосування композиційних матеріалів у ремонтній практиці.....	71
2.9 Обґрунтування вибору композиційного матеріалу для відновлення деталей автотракторної техніки.....	72

2.10 Висновки до розділу 2.....	73
3. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	75
3.1 Вибір типових деталей автотракторної техніки для відновлення	75
3.2 Аналіз дефектів і визначення ремонтпридатності деталей.....	76
3.3 Дефектація деталей перед відновленням	77
3.4 Вибір способу очищення та підготовки поверхні.....	77
3.5 Механічна підготовка поверхні перед нанесенням композиційного матеріалу	78
3.6 Знежирення, активація та забезпечення адгезії відновлюваної поверхні.....	79
3.7 Приготування композиційного матеріалу до нанесення	79
3.8 Нанесення композиційного матеріалу на зношену поверхню.....	80
3.9 Формування відновлюваного шару та забезпечення заданої геометрії	81
3.10 Тверднення композиційного матеріалу та контроль режимів полімеризації.....	81
3.11 Механічна обробка відновленої поверхні	82
3.12 Контроль якості відновлених деталей	83
3.13 Розроблення технологічної карти відновлення деталі.....	83
3.14 Висновки до розділу 3.....	85
4. ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	87
4.1 Критерії ефективності технології відновлення деталей	87
4.2 Оцінювання якості відновлення за геометричними параметрами	88
4.3 Оцінювання міцності зчеплення композиційного шару з основою	90
4.4 Оцінювання зносостійкості відновлених поверхонь	91
4.5 Порівняння запропонованої технології з традиційними способами ремонту.....	92
4.6 Визначення трудомісткості ремонтно-відновлювальних операцій.....	94
4.7 Оцінювання матеріальних витрат на відновлення деталі.....	96
4.8 Розрахунок економічної доцільності застосування композиційних матеріалів	97
4.9 Вплив запропонованої технології на ресурс і ремонтпридатність деталей	98
4.10 Висновки до розділу 4.....	99
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС	

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ	101
5.1 Загальна характеристика умов праці під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт	101
5.2 небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі з композиційними матеріалами	101
5.3 Вимоги безпеки під час очищення та механічної підготовки деталей	103
5.4 Вимоги безпеки під час приготування та нанесення композиційних матеріалів	103
5.5 Засоби індивідуального захисту працівників.....	104
5.6 Вентиляція, санітарно-гігієнічні вимоги та організація робочого місця	105
5.7 Пожежна безпека під час використання полімерних матеріалів і розчинників.....	106
5.8 Екологічні аспекти застосування композиційних матеріалів.....	106
5.9 Поводження з відходами ремонтного виробництва.....	107
5.10 Висновки до розділу 5.....	108
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробленню технології відновлення деталей автотракторної техніки із застосуванням композиційних матеріалів. Тематика роботи є актуальною, оскільки значна частина деталей машин у процесі експлуатації втрачає працездатність не через повне руйнування, а внаслідок локального зношування, порушення розмірів, пошкодження посадкових поверхонь, втрати герметичності або погіршення якості спряження з іншими деталями. У таких випадках заміна деталі новою не завжди є економічно виправданою, особливо для корпусних елементів, валів, втулок, кришок, підшипникових гнізд, кронштейнів, посадкових місць і деталей складної конфігурації.

У роботі розглянуто особливості експлуатації автотракторної техніки, що працює в умовах змінних механічних навантажень, тертя, вібрацій, абразивної дії пилу та ґрунтових частинок, температурних коливань, впливу мастильних матеріалів, палива, вологості й агресивних середовищ. Проаналізовано основні види зношування деталей: абразивне, адгезійне, корозійно-механічне, втомне, ерозійне та фретинг-зношування. Встановлено, що для багатьох деталей автотракторної техніки характерним є поєднання кількох видів зношування, що ускладнює вибір раціонального способу ремонту.

Значну увагу приділено аналізу традиційних методів відновлення деталей, серед яких зварювання, наплавлення, газотермічне напилення, гальванічне нарощування, встановлення ремонтних втулок, розточування під ремонтний розмір, наплавлення з подальшою механічною обробкою. Показано, що ці методи мають важливе практичне значення, однак у певних випадках можуть бути технологічно складними, енергоємними або економічно недоцільними. Крім того, частина традиційних способів пов'язана з тепловим впливом на деталь, що може спричинити деформації, залишкові напруження, зміну структури матеріалу та потребу в додатковій обробці.

У роботі обґрунтовано доцільність використання композиційних матеріалів як перспективного напрямку відновлення деталей автотракторної техніки. Композиційні матеріали ремонтного призначення дають змогу

компенсувати зношування, відновити геометричні параметри, підвищити герметичність з'єднань, поліпшити антифрикційні властивості поверхонь і забезпечити достатню адгезію до металевої основи. Їх застосування є особливо доцільним для деталей, які не зазнають надмірних ударних навантажень або високотемпературного впливу, але потребують відновлення посадкових, опорних, ущільнювальних чи спряжених поверхонь.

Запропоновано загальну технологічну послідовність відновлення деталей композиційними матеріалами, яка включає очищення деталі, дефектацію, визначення ремонтпридатності, механічну підготовку поверхні, знежирення, нанесення композиційного матеріалу, формування відновлюваного шару, тверднення, механічну обробку та контроль якості. Особливу увагу приділено підготовці поверхні, оскільки саме цей етап значною мірою визначає міцність зчеплення композиційного матеріалу з основою та довговічність відновленої деталі.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованої технології в умовах ремонтних майстерень аграрних підприємств, сервісних центрів, навчально-виробничих лабораторій і ремонтних дільниць. Застосування композиційних матеріалів може сприяти зменшенню собівартості ремонту, скороченню простоїв техніки, продовженню строку служби деталей і підвищенню ефективності ремонтного виробництва.

Ключові слова: автотракторна техніка, відновлення деталей, композиційні матеріали, полімерні композиції, металополімерні матеріали, зношування, дефектація, ремонтпридатність, посадкові поверхні, адгезійна міцність, технологічний процес.

ABSTRACT

The master's qualification thesis is devoted to the development of a technology for restoring automotive and tractor machinery parts using composite materials. The topic is relevant because many machine parts lose their serviceability not as a result of complete destruction, but due to local wear, dimensional deviations, damage to seating surfaces, loss of tightness, or deterioration of fit with mating parts. In such cases, replacing the damaged part with a new one is not always economically justified, especially when it concerns housing components, shafts, bushings, covers, bearing seats, brackets, mating surfaces, and parts of complex geometry.

The thesis considers the operating conditions of automotive and tractor machinery, which include variable mechanical loads, friction, vibration, abrasive action of dust and soil particles, temperature fluctuations, lubricants, fuel, moisture, and aggressive environments. The main types of wear are analyzed, including abrasive, adhesive, corrosion-mechanical, fatigue, erosive, and fretting wear. It is shown that many automotive and tractor machinery parts are affected by a combination of several types of wear, which complicates the selection of an appropriate restoration method.

Considerable attention is paid to the analysis of traditional methods of restoring parts, including welding, surfacing, thermal spraying, electroplating, installation of repair bushings, machining to repair dimensions, and surfacing followed by mechanical processing. These methods are of significant practical importance; however, in some cases they may be technologically complicated, energy-consuming, or economically inefficient. In addition, some traditional methods involve thermal effects on the part, which may cause deformation, residual stresses, changes in the structure of the base material, and the need for additional machining.

The thesis substantiates the feasibility of using composite materials as a promising direction for restoring automotive and tractor machinery parts. Repair-purpose composite materials make it possible to compensate for wear, restore geometric parameters, improve joint tightness, enhance antifriction properties of surfaces, and ensure sufficient adhesion to the metal base. Their use is particularly appropriate for parts that are not subjected to excessive impact loads or high-

temperature effects but require restoration of seating, supporting, sealing, or mating surfaces.

A general technological sequence for restoring parts with composite materials is proposed. It includes cleaning, defect detection, assessment of repairability, mechanical surface preparation, degreasing, application of the composite material, formation of the restored layer, curing, machining, and quality control. Special attention is paid to surface preparation, since this stage largely determines the adhesion strength of the composite material to the base and the durability of the restored part.

The practical significance of the thesis lies in the possibility of applying the proposed technology in repair workshops of agricultural enterprises, service centers, educational production laboratories, and repair departments. The use of composite materials can help reduce repair costs, minimize equipment downtime, extend the service life of parts, and improve the efficiency of repair production.

Keywords: automotive and tractor machinery, restoration of parts, composite materials, polymer composites, metal-polymer materials, wear, defect detection, repairability, seating surfaces, adhesion strength, technological process.

ВСТУП

Автотракторна техніка займає важливе місце в системі технічного забезпечення аграрного виробництва, транспортних робіт, будівництва, комунального господарства та інших галузей, де використовуються мобільні енергетичні засоби, причіпні й навісні машини, транспортні агрегати та спеціалізоване обладнання. Надійність такої техніки безпосередньо впливає на своєчасність виконання виробничих процесів, якість технологічних операцій, економічну ефективність підприємств і безпеку експлуатації машин.

У процесі роботи автотракторна техніка зазнає значних механічних, теплових, динамічних і корозійних впливів. Її деталі працюють в умовах тертя, знакозмінних навантажень, вібрацій, ударів, дії абразивних частинок, забруднених мастильних матеріалів, вологи, палива та продуктів зношування. Особливо складними є умови експлуатації сільськогосподарської техніки, оскільки вона часто працює в запиленому середовищі, за нестабільних температурних режимів, під дією ґрунтових частинок, підвищеної вологості та нерівномірного навантаження на робочі органи, трансмісійні вузли, ходову частину, опорні елементи й з'єднання.

Унаслідок тривалої експлуатації деталі автотракторної техніки поступово втрачають початкові геометричні параметри, точність спряження, шорсткість і якість робочих поверхонь. Найпоширенішими дефектами є зношування шийок валів, посадкових поверхонь, отворів корпусних деталей, втулок, підшипникових гнізд, кришок, фланців, різьбових з'єднань, ущільнювальних поверхонь, напрямних та опорних елементів. Такі дефекти можуть призводити до появи люфтів, перекосів, вібрацій, порушення герметичності, підвищеного шуму, втрати точності роботи механізму, збільшення витрат мастильних матеріалів, прискореного зношування суміжних деталей і, зрештою, до відмови вузла або агрегату.

Важливо зазначити, що значна кількість деталей після появи зношування або локальних пошкоджень не втрачає повністю своєї конструкційної міцності. Часто основний матеріал деталі зберігає достатню несучу здатність, а дефект має локальний характер і стосується лише окремої поверхні або зони спряження. У

таких випадках повна заміна деталі новою не завжди є раціональною. Значно доцільнішим може бути її відновлення із забезпеченням необхідних розмірів, форми, шорсткості, герметичності та експлуатаційних властивостей.

Ремонтне виробництво в системі експлуатації автотракторної техніки виконує не лише відновлювальну, а й ресурсозберігаючу функцію. Якісне відновлення деталей дає змогу зменшити потребу в нових запасних частинах, скоротити витрати на ремонт, зменшити простої техніки та забезпечити повторне використання деталей, які мають достатній залишковий ресурс. Для аграрних підприємств це має особливе значення, оскільки несвоєчасний вихід техніки з ладу в період виконання польових робіт може спричинити значні організаційні та економічні втрати.

На сьогодні в ремонтній практиці використовується широкий спектр способів відновлення деталей: механічна обробка під ремонтний розмір, встановлення додаткових ремонтних елементів, зварювання, наплавлення, металізація, газотермічне напилення, гальванічне нарощування, пластичне деформування, нанесення захисних покриттів та інші методи. Кожен із них має свою сферу застосування, переваги та обмеження. Наприклад, наплавлення дозволяє відновити зношені металеві поверхні з утворенням міцного шару, однак супроводжується значним тепловим впливом. Гальванічні покриття можуть забезпечувати високу точність нарощування, але потребують спеціального обладнання, хімічних розчинів і дотримання складних технологічних режимів. Механічна обробка під ремонтний розмір є простою, але не завжди дозволяє зберегти взаємозамінність деталей і часто потребує виготовлення або підбору суміжних елементів.

Одним із перспективних напрямів удосконалення ремонтного виробництва є застосування композиційних матеріалів. Композиційні матеріали — це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів, які мають різні властивості та разом формують новий комплекс експлуатаційних характеристик. У ремонтній практиці особливого поширення набули полімерні та металополімерні композиції, які можуть містити металеві порошки, мінеральні наповнювачі, графіт, дисульфід молібдену, керамічні частинки, волокнисті

компоненти та інші добавки, що покращують міцність, зносостійкість, теплопровідність, антифрикційні або герметизувальні властивості матеріалу.

Застосування композиційних матеріалів для відновлення деталей автотракторної техніки має низку суттєвих переваг. Насамперед такі матеріали дозволяють виконувати ремонт без значного нагрівання деталі, що зменшує ризик короблення, появи залишкових напружень, зміни структури металу та втрати точності форми. Це особливо важливо для корпусних, тонкостінних і складнопрофільних деталей, які можуть деформуватися під дією високих температур. Крім того, композиційні матеріали добре пристосовані для відновлення локальних дефектів, посадкових поверхонь, підшипникових гнізд, ущільнювальних площин, тріщин невеликої протяжності, раковин, сколів і зношених зон.

Ще однією перевагою композиційних матеріалів є технологічна простота їх застосування. Для багатьох ремонтних операцій не потрібне складне високовартісне обладнання, а сам процес може бути виконаний в умовах ремонтної майстерні або сервісної дільниці. При правильній підготовці поверхні та дотриманні режимів тверднення композиційний матеріал може забезпечити достатній рівень адгезії до основи, компенсацію зношеного шару та відновлення функціональних властивостей деталі.

Водночас ефективність використання композиційних матеріалів залежить від багатьох чинників. До них належать стан поверхні деталі, ступінь і характер зношування, правильність вибору матеріалу, якість очищення та знежирення, шорсткість поверхні, товщина нанесеного шару, температура й тривалість тверднення, умови подальшої експлуатації та характер навантаження. Недотримання технологічних вимог може призвести до відшарування матеріалу, недостатньої міцності шару, прискореного зношування або втрати геометричної точності відновленої поверхні. Тому розроблення технології відновлення деталей композиційними матеріалами потребує не формального, а системного підходу.

Актуальність теми магістерської кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності ремонту автотракторної техніки шляхом використання сучасних композиційних матеріалів, які дозволяють відновлювати

зношені та пошкоджені деталі з меншими енергетичними, матеріальними й трудовими витратами. Розроблення раціональної технології такого відновлення має практичне значення для ремонтних підприємств, аграрних господарств, сервісних центрів і навчально-виробничих підрозділів, де здійснюється технічне обслуговування та ремонт машин.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розроблення технології відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами з обґрунтуванням вибору матеріалу, технологічної послідовності операцій, режимів підготовки, нанесення, тверднення, механічної обробки та контролю якості відновлених поверхонь.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати умови експлуатації деталей автотракторної техніки та визначити основні чинники, що спричиняють їх зношування й пошкодження.
2. Розглянути характерні дефекти деталей автотракторної техніки, які можуть бути усунуті шляхом застосування композиційних матеріалів.
3. Проаналізувати традиційні способи відновлення деталей машин, визначити їх переваги, недоліки та обмеження.
4. Обґрунтувати доцільність використання композиційних матеріалів у ремонтному виробництві.
5. Визначити основні вимоги до композиційних матеріалів для відновлення посадкових, опорних, ущільнювальних і робочих поверхонь деталей.
6. Розробити технологічну послідовність відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами.
7. Обґрунтувати операції очищення, дефектації, механічної підготовки, знежирення та нанесення композиційного матеріалу.
8. Визначити основні вимоги до тверднення, механічної обробки та контролю якості відновлених поверхонь.
9. Провести порівняльне оцінювання запропонованої технології з традиційними методами ремонту.

10. Розглянути питання охорони праці та екологічної безпеки під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт із застосуванням композиційних матеріалів.

Об'єктом дослідження є процес відновлення деталей автотракторної техніки, що втратили працездатність або частково погіршили експлуатаційні властивості внаслідок зношування, пошкодження чи порушення геометричних параметрів.

Предметом дослідження є технологічні умови, режими та операції відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами, зокрема підготовка поверхні, вибір матеріалу, нанесення, тверднення, обробка й контроль якості відновленого шару.

Методи дослідження передбачають аналіз науково-технічної та виробничої інформації з питань зношування і відновлення деталей машин, порівняльний аналіз ремонтних технологій, систематизацію вимог до композиційних матеріалів, технологічне проектування ремонтного процесу, аналіз ремонтпридатності деталей, узагальнення практичних підходів до контролю якості відновлених поверхонь, а також техніко-економічне оцінювання доцільності застосування запропонованої технології.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні підходу до вибору та застосування композиційних матеріалів для відновлення деталей автотракторної техніки з урахуванням характеру дефектів, умов експлуатації, вимог до адгезійної міцності, зносостійкості, технологічності та ремонтпридатності відновлених поверхонь.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технологічної послідовності відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами, яка може бути використана в ремонтних майстернях, сервісних центрах, аграрних підприємствах і навчально-виробничих лабораторіях. Запропоновані технологічні рішення можуть бути застосовані для відновлення посадкових поверхонь, отворів, гнізд під підшипники, корпусних деталей, валів, втулок, кришок, фланців та інших деталей, для яких традиційні способи ремонту є складними, дорогими або недостатньо ефективними.

Теоретичне значення роботи полягає в узагальненні підходів до вибору композиційних матеріалів ремонтного призначення та визначенні основних технологічних чинників, які впливають на якість і довговічність відновлених деталей. До таких чинників належать стан поверхні, шорсткість, чистота, площа контакту, товщина шару, температурно-часові умови тверднення, характер навантаження та відповідність матеріалу умовам роботи деталі.

Очікуваний результат роботи полягає у формуванні обґрунтованої технології відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами, яка забезпечує відновлення геометричних параметрів, підвищення ремонтпридатності деталей, зменшення витрат на ремонт і продовження строку служби вузлів та агрегатів.

Структура магістерської кваліфікаційної роботи передбачає анотацію, вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел і додатки. У першому розділі аналізується стан питання відновлення деталей автотракторної техніки. У другому розділі обґрунтовується вибір композиційних матеріалів для ремонтного виробництва. У третьому розділі розробляється технологічний процес відновлення деталей. У четвертому розділі оцінюється технічна й економічна ефективність запропонованої технології. У п'ятому розділі розглядаються питання охорони праці та екологічної безпеки під час виконання робіт із композиційними матеріалами.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ

Надійна робота автотракторної техніки є однією з ключових умов ефективного функціонування аграрного виробництва, транспортного забезпечення, будівельних робіт, комунального господарства та інших галузей, де застосовуються мобільні енергетичні засоби. До цієї групи техніки належать трактори, автомобілі, комбайни, причіпні та навісні машини, ґрунтообробні агрегати, посівна техніка, машини для внесення добрив, транспортно-технологічні агрегати, спеціалізовані самохідні машини та допоміжне обладнання. Усі вони мають складну конструкцію, значну кількість рухомих спряжень і вузлів, які в процесі експлуатації працюють за умов дії механічних, теплових, динамічних, корозійних і абразивних факторів [1].

У процесі експлуатації деталі автотракторної техніки поступово втрачають початкові параметри технічного стану. Найчастіше це проявляється у вигляді зношування робочих поверхонь, збільшення зазорів у спряженнях, порушення співвісності, зниження герметичності, появи люфтів, втомних тріщин, задирів, корозійних пошкоджень, деформацій або руйнування окремих конструктивних елементів. Такі зміни не завжди означають повну непридатність деталі. У багатьох випадках основний матеріал зберігає достатню міцність, а дефект має локальний характер і може бути усунений шляхом відновлення зношеної поверхні або компенсації втраченої геометрії [2].

Саме тому відновлення деталей автотракторної техніки є важливим напрямом ремонтного виробництва. Воно дає змогу продовжити строк служби машин, зменшити потребу в нових запасних частинах, скоротити простої техніки, підвищити коефіцієнт технічної готовності та знизити витрати на експлуатацію. Особливої актуальності це набуває в умовах аграрного виробництва, де своєчасність виконання технологічних операцій має вирішальне значення, а вихід техніки з ладу під час посівної, обробітку ґрунту, збирання врожаю чи транспортування продукції може спричинити значні економічні втрати [3].

Водночас сучасні умови ремонту вимагають не лише відновлення геометричних розмірів деталей, а й забезпечення необхідних експлуатаційних

властивостей відновлених поверхонь. Відновлена деталь повинна мати достатню міцність, зносостійкість, адгезійну надійність покриття, стабільність розмірів, сумісність із матеріалом спряженої деталі та здатність працювати в реальних умовах навантаження. У цьому контексті важливого значення набуває використання сучасних ремонтних матеріалів, серед яких окреме місце займають композиційні матеріали [4].

Композиційні матеріали відкривають нові можливості для відновлення деталей автотракторної техніки, оскільки дають змогу формувати на зношених поверхнях шари з наперед заданими властивостями. Вони можуть виконувати відновлювальну, захисну, антифрикційну, герметизувальну або зміцнювальну функцію. Їх застосування особливо доцільне для деталей, відновлення яких традиційними методами є складним, дорогим або пов'язане з небажаним тепловим впливом на основний матеріал деталі [5].

1.1. Роль ремонтного виробництва у забезпеченні працездатності автотракторної техніки

Ремонтне виробництво є невід'ємною складовою системи технічної експлуатації автотракторної техніки. Його основне призначення полягає у відновленні працездатності машин, агрегатів, вузлів і деталей після часткової або повної втрати ними заданих технічних характеристик. На відміну від технічного обслуговування, яке переважно має профілактичний характер і спрямоване на запобігання відмовам, ремонт передбачає усунення вже наявних дефектів, пошкоджень або наслідків зношування [1].

У загальній системі життєвого циклу автотракторної техніки ремонтне виробництво виконує кілька взаємопов'язаних функцій: технічну, економічну, ресурсозберігаючу, організаційну та екологічну. Технічна функція полягає у поверненні машині або її окремим елементам працездатного стану. Економічна функція пов'язана зі зменшенням витрат на придбання нових деталей і агрегатів. Ресурсозберігаюча функція проявляється у повторному використанні деталей, які мають достатній залишковий ресурс. Організаційна функція полягає у забезпеченні безперервності виробничих процесів, а екологічна — у скороченні

обсягів металовідходів, енергоспоживання та потреби у виготовленні нових запасних частин [2].

У сучасних умовах ремонтне виробництво не можна розглядати лише як допоміжний процес. Воно фактично є окремою технологічною системою, що включає діагностування, дефектацію, розбирання, очищення, відновлення деталей, складання, регулювання, контроль якості та випробування відремонтованих вузлів. Якість виконання кожної з цих операцій безпосередньо впливає на надійність машини після ремонту. Якщо хоча б один із етапів виконано неякісно, відновлений вузол може мати знижений ресурс, нестабільні експлуатаційні показники або підвищену ймовірність повторної відмови [3].

Особливість автотракторної техніки полягає в тому, що її ремонт часто виконується в умовах обмеженого часу, особливо в періоди інтенсивного сезонного використання. Для аграрних підприємств характерні стислі строки виконання технологічних операцій. Наприклад, затримка із введенням у роботу трактора, комбайна або транспортного агрегату в критичний період може призвести не лише до простою техніки, а й до порушення строків виконання польових робіт. Тому ремонтне виробництво має забезпечувати не тільки якість, а й оперативність відновлення працездатності машин [4].

Працездатність автотракторної техніки визначається здатністю виконувати задані функції з параметрами, встановленими технічною документацією. До таких параметрів належать потужність, продуктивність, витрата палива, точність руху або виконання технологічної операції, вантажопідйомність, тягове зусилля, герметичність систем, температурний режим, рівень шуму, вібрації, стабільність роботи агрегатів та безпечність експлуатації. Втрата працездатності може бути повною або частковою. Повна втрата працездатності означає неможливість виконання машиною своїх функцій, тоді як часткова втрата проявляється у зниженні ефективності, збільшенні витрат палива, погіршенні керованості, підвищеному зношуванню деталей або появі нестабільних режимів роботи [5].

Ремонтне виробництво має особливе значення саме тому, що значна частина відмов автотракторної техніки пов'язана не з повним руйнуванням деталей, а з поступовим накопиченням дефектів. У таких випадках відновлення

окремої деталі або спряження дозволяє повернути працездатність усьому вузлу. Наприклад, зношування посадкового місця під підшипник у корпусній деталі може призвести до порушення співвісності вала, підвищеної вібрації та руйнування підшипника. Водночас сама корпусна деталь може залишатися придатною до подальшої роботи після відновлення посадкової поверхні [6].

Для кращого розуміння ролі ремонтного виробництва у забезпеченні працездатності автотракторної техніки доцільно розглянути його основні функції, які наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні функції ремонтного виробництва у системі експлуатації автотракторної техніки

Функція ремонтного виробництва	Зміст функції	Практичне значення
Технічна	Відновлення працездатності машин, вузлів, агрегатів і деталей	Забезпечення можливості подальшої експлуатації техніки
Економічна	Зменшення витрат на заміну деталей і придбання нових агрегатів	Зниження собівартості експлуатації машин
Ресурсозберігаюча	Повторне використання деталей із залишковим ресурсом	Рациональне використання матеріалів і запасних частин
Організаційна	Скорочення простоїв техніки та підтримання виробничого ритму	Забезпечення своєчасного виконання технологічних операцій
Технологічна	Застосування методів діагностування, дефектації та відновлення	Підвищення якості ремонту і стабільності експлуатаційних показників
Екологічна	Зменшення кількості списаних деталей і металовідходів	Зниження негативного впливу ремонтної діяльності на довкілля
Навчально-виробнича	Формування професійних компетентностей у сфері ремонту машин	Підготовка фахівців до практичної роботи з технікою

Як видно з табл. 1.1, ремонтне виробництво має комплексне значення і не обмежується лише технічним усуненням несправностей. Воно впливає на економіку експлуатації техніки, рівень використання матеріальних ресурсів, організацію виробничих процесів і екологічну ефективність підприємства.

Одним із ключових показників ефективності ремонтного виробництва є коефіцієнт технічної готовності машин. Він характеризує частку часу, протягом якого техніка перебуває у працездатному стані та може бути використана за призначенням. Чим якісніше організовано ремонт, тим меншими є простої машин і тим вищим є рівень їх технічної готовності [7]. У практичному плані це означає, що ремонтне виробництво має бути не випадковою реакцією на відмову, а керованою системою підтримання працездатності машин протягом усього строку експлуатації.

Особливе місце в ремонтному виробництві займає відновлення деталей. Це пояснюється тим, що деталь є первинним елементом конструкції машини, а її технічний стан безпосередньо впливає на роботу всього вузла. Відновлення деталі передбачає повернення її форми, розмірів, шорсткості, міцності, герметичності, зносостійкості або інших функціональних властивостей до рівня, достатнього для подальшої експлуатації. При цьому важливо розрізняти просте усунення дефекту і повноцінне технологічне відновлення. Просте усунення дефекту може мати тимчасовий характер, тоді як повноцінне відновлення повинно забезпечувати прогнозований ресурс роботи деталі [8].

У практиці ремонту автотракторної техніки часто трапляються ситуації, коли нова деталь є дорогою, дефіцитною або потребує тривалого постачання. У таких випадках відновлення наявної деталі може бути не лише економічно вигідним, а й організаційно необхідним. Це особливо актуально для техніки, яка експлуатується тривалий час, для машин іноземного виробництва, запасні частини до яких мають високу вартість, а також для вузлів, де вихід з ладу однієї посадкової поверхні не виправдовує заміну всієї корпусної деталі [9].

Водночас рішення про відновлення деталі має бути обґрунтованим. Не кожна деталь, що має дефект, підлягає відновленню. Доцільність ремонту визначається ступенем зношування, характером пошкодження, залишковою міцністю, вартістю нової деталі, складністю відновлення, наявністю технологічного обладнання, вимогами безпеки та очікуваним ресурсом після ремонту. Якщо відновлення не забезпечує необхідної надійності або може створити ризик аварійної відмови, така деталь повинна бути замінена [10].

У цьому контексті важливу роль відіграє дефектація деталей. Вона дозволяє встановити фактичний технічний стан деталі, визначити вид і ступінь пошкодження, порівняти отримані параметри з допустимими значеннями та прийняти рішення щодо подальшого використання. За результатами дефектації деталі можуть бути розподілені на три основні групи: придатні без ремонту, придатні після відновлення та непридатні до подальшого використання. Саме друга група становить основний інтерес для ремонтного виробництва, оскільки її відновлення забезпечує найбільший економічний і ресурсозберігаючий ефект [11].

Сучасне ремонтне виробництво повинно орієнтуватися не лише на традиційні методи відновлення, а й на застосування нових матеріалів і технологій. До таких технологій належить використання композиційних матеріалів, які дають змогу відновлювати посадкові місця, отвори, поверхні тертя, корпусні елементи, ущільнювальні площини й інші деталі без значного теплового впливу. Це особливо важливо для деталей, геометрична точність яких може бути порушена під час зварювання або наплавлення [12].

Композиційні матеріали в ремонтному виробництві можуть виконувати кілька функцій. По-перше, вони компенсують втрату матеріалу внаслідок зношування. По-друге, забезпечують відновлення геометричної форми деталі. По-третє, можуть створювати шар із підвищеними антифрикційними, герметизувальними або захисними властивостями. По-четверте, дозволяють зменшити обсяг механічної обробки, оскільки часто наносяться безпосередньо на локальну дефектну ділянку. По-п'яте, дають можливість виконувати ремонт у менш енергоємний спосіб порівняно з високотемпературними методами [13].

Отже, роль ремонтного виробництва у забезпеченні працездатності автотракторної техніки полягає не лише у відновленні окремих деталей після зношування, а й у підтриманні загальної технічної готовності машин, зниженні витрат на експлуатацію, раціональному використанні ресурсів і підвищенні ефективності виробничих процесів. В умовах зростання вартості запасних частин, необхідності економії матеріалів і підвищення вимог до надійності

техніки розвиток технологій відновлення деталей, зокрема із застосуванням композиційних матеріалів, є обґрунтованим і перспективним напрямом [14].

1.2. Особливості експлуатації деталей автотракторної техніки

Експлуатація деталей автотракторної техніки має низку специфічних особливостей, які відрізняють її від експлуатації деталей стаціонарного промислового обладнання. Насамперед це пов'язано з тим, що автотракторна техніка працює у змінних дорожніх, ґрунтових, кліматичних і навантажувальних умовах. Машини можуть виконувати роботу на полі, ґрунтових дорогах, у запиленому середовищі, за підвищеної вологості, під дією вібрацій, ударів, різких змін швидкості та тягового навантаження. Усе це створює складний комплекс експлуатаційних факторів, які впливають на технічний стан деталей [15].

Для деталей автотракторної техніки характерним є поєднання кількох видів навантаження. Наприклад, вали трансмісії сприймають крутний момент, згинальні навантаження, вібрації та контактні напруження в зонах посадок під підшипники або шестерні. Корпусні деталі зазнають статичних і динамічних навантажень, а також можуть мати локальне зношування посадкових отворів. Деталі ходової частини працюють в умовах ударних навантажень, забруднення, вологості та абразивної дії. Деталі двигуна зазнають теплового, механічного й хімічного впливу. У гідравлічних системах важливими є герметичність, чистота робочої рідини та стійкість поверхонь до кавітаційного й ерозійного пошкодження [16].

Однією з головних особливостей експлуатації автотракторної техніки є нестабільність режимів навантаження. На відміну від багатьох стаціонарних машин, які працюють у відносно сталих умовах, трактори та автомобілі часто переходять з одного режиму роботи на інший. Зміна швидкості руху, навантаження на двигун, опору ґрунту, дорожнього покриття, кута нахилу місцевості, режиму буксування або транспортування призводить до постійної зміни напруженого стану деталей. Це сприяє накопиченню втомних пошкоджень і прискорює зношування спряжень [17].

Важливим фактором є дія абразивного середовища. Автотракторна техніка, особливо сільськогосподарська, часто працює в умовах підвищеної запиленості. Частинки ґрунту, пилу, піску, рослинних решток і продуктів зношування можуть потрапляти в рухомі спряження, мастильні матеріали, повітряні фільтри, підшипникові вузли, шарніри, ущільнення та гідравлічні системи. За наявності абразивних частинок у зоні тертя відбувається мікрорізання, пластичне деформування поверхневого шару, утворення подряпин, ризок і прискорене зменшення розмірів деталей [18].

Значний вплив на довговічність деталей має якість мастильних матеріалів і режим мащення. Недостатня кількість мастила, його забруднення, старіння, втрата в'язкості або невідповідність умовам роботи можуть призвести до переходу від рідинного мащення до граничного або сухого тертя. За таких умов різко зростає температура в зоні контакту, підвищується коефіцієнт тертя, активізуються процеси адгезійного зношування, з'являються задири, схоплювання та локальні пошкодження поверхні [19].

Особливе значення має температурний режим роботи деталей. У двигунах внутрішнього згоряння, трансмісіях, гальмівних механізмах, гідравлічних системах і підшипникових вузлах температура може суттєво змінюватися залежно від навантаження, швидкості, стану охолодження, якості мастила та зовнішніх кліматичних умов. Перегрів деталей може спричинити зміну властивостей матеріалу, зниження твердості, прискорене старіння мастила, термічні деформації, погіршення посадок і порушення зазорів. Низькі температури, у свою чергу, можуть підвищувати в'язкість мастила, ускладнювати запуск двигуна, збільшувати навантаження на деталі під час початкового періоду роботи та сприяти крихкому руйнуванню окремих матеріалів [20].

До характерних особливостей експлуатації автотракторної техніки належить також циклічність використання. У сільському господарстві інтенсивність роботи машин змінюється протягом року. У періоди польових робіт техніка може експлуатуватися з високим навантаженням і мінімальними перервами, тоді як у міжсезоння вона може простоювати або проходити ремонт. Така нерівномірність використання впливає на технічний стан деталей. Під час

інтенсивної роботи прискорюється зношування, а під час тривалого простою можуть активізуватися корозійні процеси, старіння гумотехнічних виробів, втрата властивостей мастильних матеріалів і ущільнень [21].

Важливим чинником є також різноманітність конструкцій автотракторної техніки. У ремонтній практиці можуть одночасно обслуговуватися машини різних марок, років випуску, конструктивних схем і технічного стану. Це ускладнює стандартизацію ремонтних процесів і вимагає гнучкого підходу до вибору технології відновлення. Особливо це стосується деталей, які вже раніше ремонтувалися, мають нестандартні розміри, змінені посадки або сліди попередніх відновлювальних операцій [22].

Умови експлуатації деталей автотракторної техніки доцільно систематизувати за основними факторами впливу. Така систематизація наведена у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні експлуатаційні фактори, що впливають на стан деталей автотракторної техніки

Експлуатаційний фактор	Характер впливу на деталі	Типові наслідки
Механічні навантаження	Дія сил розтягу, стиску, згину, кручення, контактного тиску	Деформації, втомні тріщини, руйнування, зміна форми
Тертя	Взаємне переміщення поверхонь у спряженнях	Зношування, задири, збільшення зазорів, нагрівання
Абразивне середовище	Потрапляння пилу, піску, ґрунтових частинок у зону контакту	Подряпини, мікрорізання, прискорене зношування
Вібрації	Коливальні процеси під час роботи двигуна, трансмісії, ходової частини	Ослаблення з'єднань, фретинг-зношування, тріщини
Ударні навантаження	Різде прикладання сили при роботі на нерівностях або з важкими агрегатами	Сколювання, деформації, локальне руйнування
Температурні коливання	Нагрівання та охолодження деталей у процесі роботи	Термічні деформації, зміна зазорів, старіння матеріалів
Корозійне середовище	Дія вологи, добрив, палива, продуктів окиснення	Корозія, зменшення перерізу, погіршення стану поверхні

Забруднення мастила	Наявність частинок зношування, пилу, води або продуктів старіння	Прискорене зношування, пошкодження підшипників, задири
Порушення технічного обслуговування	Несвоєчасне мащення, регулювання або заміна фільтрів	Підвищений знос, перегрів, скорочення ресурсу

Дані табл. 1.2 свідчать, що технічний стан деталей формується під впливом великої кількості взаємопов'язаних чинників. Саме тому під час аналізу дефектів необхідно встановлювати не лише сам факт зношування, а й причину його виникнення. Якщо причина не буде усунута, навіть якісно відновлена деталь може швидко втратити працездатність повторно.

Для деталей автотракторної техніки характерним є широкий спектр дефектів. До найпоширеніших належать зношування шийок валів, овальність і конусність отворів, збільшення діаметра підшипникових гнізд, пошкодження різьби, зношування шпонкових пазів, порушення площинності фланців, тріщини корпусних деталей, корозійні раковини, зношування втулок і втулкових з'єднань, пошкодження ущільнювальних поверхонь. Частина таких дефектів може бути усунута традиційними методами, однак значна кількість локальних пошкоджень ефективно відновлюється саме композиційними матеріалами [23].

Особливий інтерес для застосування композиційних матеріалів становлять деталі, в яких дефект має локальний характер і не супроводжується критичним руйнуванням основного матеріалу. Наприклад, зношене посадкове місце під підшипник у корпусі редуктора, кришці або опорі може бути відновлене шляхом нанесення металополімерної композиції з подальшим формуванням необхідного розміру. Подібний підхід дозволяє уникнути складного наплавлення або розточування під ремонтну втулку, особливо якщо деталь має складну форму або невелику товщину стінки [24].

Важливою особливістю експлуатації є те, що різні групи деталей мають різні вимоги до відновленого шару. Для посадкових поверхонь головними є точність розміру, міцність зчеплення матеріалу з основою та здатність сприймати контактні навантаження. Для поверхонь тертя важливими є зносостійкість, антифрикційні властивості та сумісність із мастилом. Для ущільнювальних

поверхонь основне значення мають герметичність, рівномірність шару та стійкість до дії робочого середовища. Для корпусних деталей важливими є жорсткість, відсутність тріщин, збереження форми та забезпечення правильної взаємодії з іншими елементами вузла [25].

Таким чином, експлуатаційні особливості деталей автотракторної техніки визначаються складністю умов роботи, поєднанням різних видів навантаження, дією абразивного та корозійного середовища, нестабільністю температурних режимів, сезонністю використання та залежністю ресурсу від якості технічного обслуговування. Усі ці чинники необхідно враховувати під час вибору технології відновлення. Застосування композиційних матеріалів є перспективним саме тому, що воно дозволяє адаптувати властивості відновленого шару до конкретних умов роботи деталі [26].

1.3. Класифікація деталей автотракторної техніки за умовами роботи та характером навантаження

Класифікація деталей автотракторної техніки є важливою передумовою правильного вибору способу їх відновлення. Оскільки різні деталі працюють у різних умовах, мають різне функціональне призначення, сприймають різні види навантаження та мають різні вимоги до точності, зносостійкості й міцності, універсального способу ремонту для всіх деталей не існує. Саме тому під час розроблення технології відновлення необхідно спочатку визначити, до якої групи належить деталь, які дефекти для неї характерні, які параметри є критичними та які матеріали можуть забезпечити необхідний ресурс після ремонту [27].

У ремонтному виробництві деталі автотракторної техніки можна класифікувати за кількома ознаками: функціональним призначенням, характером навантаження, видом зношування, матеріалом виготовлення, точністю розмірів, умовами мащення, температурним режимом, ремонтпридатністю та доцільністю застосування певного способу відновлення. Такий підхід дозволяє не лише систематизувати номенклатуру деталей, а й обґрунтовано вибрати технологію їх ремонту [28].

За функціональним призначенням деталі автотракторної техніки можна поділити на деталі двигуна, трансмісії, ходової частини, рульового керування, гальмівної системи, гідравлічної системи, робочого обладнання, корпусні деталі, кріпильні елементи та деталі ущільнень. Кожна з цих груп має свої умови роботи. Наприклад, деталі двигуна працюють за підвищених температур, високих швидкостей і змінних навантажень. Деталі трансмісії сприймають крутний момент і контактні навантаження. Деталі ходової частини працюють в умовах ударів, вібрацій і забруднення. Корпусні деталі забезпечують базування, взаємне розташування та жорсткість вузлів [29].

За характером навантаження деталі можна поділити на ті, що працюють переважно на розтяг, стиск, згин, кручення, контактне навантаження, удар, вібрацію або комбіноване навантаження. У реальних умовах більшість деталей сприймає саме комбіновані навантаження. Наприклад, вал може одночасно працювати на кручення і згин, а його шийки додатково зазнають контактного навантаження в зоні підшипникової посадки. Корпусна деталь може працювати на стиск і згин, а її отвори — на контактний тиск і зношування [30].

Для вибору способу відновлення важливо враховувати не лише величину навантаження, а й характер його зміни в часі. Статичні навантаження діють відносно постійно, тоді як динамічні змінюються за величиною або напрямом. Ударні навантаження мають короткочасний, але інтенсивний характер. Циклічні навантаження є особливо небезпечними, оскільки сприяють розвитку втомних пошкоджень навіть за напружень, нижчих від межі міцності матеріалу [31].

Класифікацію деталей автотракторної техніки за характером роботи та можливими дефектами наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Класифікація деталей автотракторної техніки за умовами роботи та характерними дефектами

Група деталей	Приклади деталей	Основні умови роботи	Характерні дефекти	Можливість відновлення композиційними матеріалами
Вали та осі	Вали коробок	Кручення, згин, контактні	Зношування шийок,	Можливе для посадкових

	передач, карданні вали, осі, проміжні вали	навантаження, вібрації	пошкодженн я посадок, задири, зношування шпонкових пазів	поверхонь і локальних дефектів за помірних навантажень
Корпусні деталі	Корпуси редукторів, картери, кришки, опори	Статичні й динамічні навантаження, вібрації, базування вузлів	Зношування отворів, тріщини, раковини, порушення площинності	Доцільне для відновлення гнізд, отворів, площин і локальних пошкоджень
Втулки та вкладиші	Втулки шарнірів, напрямні втулки, опорні елементи	Тертя ковзання, контактний тиск, забруднення	Збільшення зазорів, овальність, зношування внутрішньої поверхні	Можливе за умови правильного вибору антифрикційно ї композиції
Підшипников і посадки	Гнізда під підшипник и, посадки на валах	Контактний тиск, вібрації, мікропереміщен ня	Послаблення посадки, фретинг- зношування, овальність	Доцільне для відновлення натягу й геометрії посадки
Ущільнюваль ні поверхні	Фланці, кришки, площини рознімання , канавки ущільнень	Контакт із мастилом, паливом, робочими рідинами	Подряпини, корозія, раковини, порушення герметичнос ті	Доцільне для герметизації та вирівнювання поверхонь
Деталі ходової частини	Важелі, пальці, шарніри, опори, кронштейн и	Удари, вібрації, абразив, змінні навантаження	Зношування отворів, деформації, тріщини	Обмежене, залежить від рівня навантаження та безпеки вузла
Деталі гідросистем	Корпуси насосів, кришки, посадки ущільнень	Тиск робочої рідини, ерозія, герметичність	Зношування, ерозійні пошкодженн я, витікання рідини	Можливе для локального відновлення і герметизації
Кріпильні та різьбові елементи	Різьбові отвори, шпильки, болтові з'єднання	Розтяг, стиск, вібрації, циклічні навантаження	Зрив різьби, послаблення з'єднань, корозія	Можливе переважно для відновлення різьбових отворів і фіксації

Як видно з табл. 1.3, застосування композиційних матеріалів є найбільш доцільним для деталей, у яких необхідно відновити посадкові, опорні, ущільнювальні або локально зношені поверхні. Водночас для деталей, які працюють в умовах високих ударних навантажень, значного нагрівання або безпосередньо впливають на безпеку руху, використання композиційних матеріалів потребує особливо ретельного обґрунтування.

За характером зношування деталі можна поділити на групи, для яких переважає абразивне, адгезійне, втомне, корозійно-механічне, ерозійне або фретинг-зношування. Абразивне зношування характерне для деталей, що працюють у забрудненому середовищі або контактують із ґрунтом, пилом, піском і твердими частинками. Адгезійне зношування виникає в умовах недостатнього мащення, коли поверхні контактують без надійної мастильної плівки. Втомне зношування пов'язане з дією повторних контактних навантажень. Корозійно-механічне зношування виникає за одночасної дії тертя й агресивного середовища. Фретинг-зношування характерне для нерухомих або умовно нерухомих з'єднань, у яких виникають малі коливальні переміщення [32].

Залежно від характеру зношування змінюються вимоги до відновлювального матеріалу. Якщо основним фактором є абразивне зношування, матеріал повинен мати підвищену твердість і стійкість до мікрорізання. Якщо переважає тертя ковзання, важливими стають антифрикційні властивості, низький коефіцієнт тертя та здатність працювати в парі зі спряженою деталлю. Якщо деталь працює в умовах вібрацій і мікропереміщень, важливо забезпечити високу адгезійну міцність і стійкість до відшарування [33].

Класифікацію деталей за видом переважного зношування та вимогами до відновленого шару наведено у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Взаємозв'язок виду зношування деталей і вимог до відновленого шару

Вид зношування	Типові деталі або поверхні	Основна причина виникнення	Вимоги до відновленого шару
Абразивне	Втулки, шарніри, пальці, поверхні ходової частини	Дія пилу, піску, ґрунтових частинок	Зносостійкість, твердість, стійкість до мікрорізання

Адгезійне	Шийки валів, втулки, поверхні ковзання	Недостатнє мащення, високий контактний тиск	Антифрикційність, теплостійкість, сумісність із мастилом
Втомне	Зубчасті колеса, підшипникові посадки, опорні поверхні	Повторні контактні навантаження	Міцність, стабільність структури, стійкість до тріщиноутворення
Корозійно-механічне	Ущільнювальні поверхні, фланці, корпуси	Одночасна дія вологи, хімічного середовища і тертя	Хімічна стійкість, герметичність, адгезія
Ерозійне	Деталі гідравлічних систем, корпуси насосів	Потік рідини з твердими частинками або кавітація	Стійкість до ерозії, щільність шару, міцність
Фретинг-зношування	Посадки під підшипники, шліцьові та пресові з'єднання	Мікропереміщення під дією вібрацій	Адгезійна міцність, стійкість до відшарування, стабільність посадки

Дані табл. 1.4 підтверджують, що вибір композиційного матеріалу не може бути випадковим. Він повинен ґрунтуватися на аналізі виду зношування, умов роботи, характеру навантаження та функціонального призначення поверхні.

За матеріалом виготовлення деталі автотракторної техніки можуть бути сталевими, чавунними, алюмінієвими, бронзовими, латунними, полімерними, гумометалевими або комбінованими. Матеріал основи має велике значення для вибору способу підготовки поверхні та забезпечення адгезії композиційного шару. Наприклад, сталеві поверхні зазвичай мають добру міцність і можуть піддаватися механічному шорсткуванню, тоді як чавунні деталі можуть мати пористу структуру і потребувати ретельного очищення від мастила. Алюмінієві сплави мають оксидну плівку, яка може впливати на зчеплення композиції з основою [34].

За ремонтпридатністю деталі можна поділити на три основні групи. До першої належать деталі, які легко відновлюються стандартними методами без значних витрат. До другої — деталі, відновлення яких можливе, але потребує спеціальних матеріалів, оснащення або технологічних режимів. До третьої — деталі, відновлення яких недоцільне через критичний характер пошкодження, високі вимоги до безпеки або економічну не вигідність ремонту. Композиційні

матеріали найбільш ефективні для першої та другої групи, особливо коли потрібно відновити локальні дефекти без складної термічної обробки [35].

Для розроблення технології відновлення важливо враховувати не лише класифікацію деталей, а й класифікацію їх поверхонь. Одна й та сама деталь може мати кілька поверхонь різного функціонального призначення. Наприклад, корпус редуктора може мати посадкові отвори під підшипники, площини рознімання, різьбові отвори, ущільнювальні поверхні та базові площини. Кожна з цих поверхонь має різні вимоги до точності й різний характер можливого відновлення. Тому під час ремонту необхідно аналізувати не деталь загалом, а конкретну дефектну поверхню [36].

Особливе значення має поділ деталей за критичністю їх відмови. До відповідальних деталей належать елементи, руйнування або неправильна робота яких може призвести до аварійної ситуації, втрати керованості, руйнування вузла або загрози безпеці людини. До таких деталей можуть належати елементи рульового керування, гальмівної системи, несучих конструкцій, зчіпних пристроїв, окремі деталі ходової частини та високонавантажені елементи трансмісії. Для таких деталей застосування будь-якого способу відновлення повинно бути особливо обґрунтованим, а контроль якості — максимально жорстким [37].

Менш критичні деталі, наприклад кришки, корпусні елементи, посадкові місця допоміжних вузлів, ущільнювальні поверхні, опори допоміжних механізмів, часто є більш придатними для відновлення композиційними матеріалами. Саме для таких деталей можна отримати значний економічний ефект без істотного ризику для безпеки експлуатації, за умови дотримання технологічних вимог [38].

За умовами мащення деталі можна поділити на ті, що працюють в умовах рідинного, граничного, змішаного або сухого тертя. У разі рідинного мащення поверхні деталей розділені мастильною плівкою, що значно зменшує зношування. У разі граничного мащення мастильна плівка нестабільна, і окремі мікронерівності поверхонь контактують між собою. У разі сухого тертя зношування відбувається значно інтенсивніше. Для композиційних матеріалів ця

класифікація є важливою, оскільки різні композиції мають різну здатність працювати в умовах тертя, мащення та контакту з мастильними матеріалами [39].

За температурними умовами роботи деталі можна поділити на деталі, що працюють за нормальних температур, за помірного нагрівання, за високих температур або в умовах періодичних температурних коливань. Для композиційних матеріалів температурний фактор є одним із визначальних, оскільки полімерна матриця має певні межі теплостійкості. Якщо температура експлуатації перевищує допустимі значення для обраної композиції, відновлений шар може втратити міцність, змінити форму або відшаруватися. Тому застосування композиційних матеріалів для високотемпературних деталей потребує особливо ретельного вибору матеріалу [40].

За характером контакту з робочим середовищем деталі можуть працювати в повітрі, мастилі, паливі, охолоджувальній рідині, гідравлічній рідині, воді, ґрунтовому середовищі або суміші кількох середовищ. Робоче середовище може впливати на відновлений шар хімічно, фізично або механічно. Наприклад, контакт із мастилом може бути сприятливим для поверхонь тертя, але якщо композиційний матеріал має низьку хімічну стійкість до певного середовища, це може призвести до його набухання, розм'якшення або втрати адгезії [41].

Практичне значення класифікації полягає в тому, що вона дозволяє сформулювати логічний алгоритм вибору технології відновлення. Спочатку встановлюють функціональне призначення деталі, потім визначають характер дефекту, умови роботи, матеріал основи, вимоги до поверхні та допустимі способи ремонту. Після цього обирають конкретний композиційний матеріал, спосіб підготовки поверхні, технологію нанесення, режим тверднення та метод контролю якості [42].

Якщо деталь неправильно віднесена до певної групи або не враховано реальні умови її роботи, вибраний матеріал може не забезпечити необхідного ресурсу. Наприклад, композиція, придатна для герметизації нерухомого з'єднання, не обов'язково буде придатною для поверхні тертя. Так само матеріал, який добре працює за нормальної температури, може втратити властивості в умовах нагрівання або контакту з агресивним середовищем [43].

Отже, класифікація деталей автотракторної техніки за умовами роботи та характером навантаження є необхідним етапом розроблення технології їх відновлення. Вона дозволяє встановити зв'язок між конструктивними особливостями деталі, характером її дефектів, умовами експлуатації та вимогами до відновлювального матеріалу. Для застосування композиційних матеріалів така класифікація має особливе значення, оскільки властивості композиції повинні відповідати конкретним умовам роботи відновленої поверхні. Найбільш перспективними для відновлення композиційними матеріалами є посадкові, опорні, ущільнювальні, корпусні та локально зношені поверхні, де необхідно забезпечити відновлення геометрії, герметичності, адгезійної міцності й достатньої зносостійкості без значного теплового впливу на основний матеріал деталі [44].

1.4. Основні види зношування деталей машин

Зношування деталей машин є одним із головних процесів, що визначає втрату працездатності автотракторної техніки в експлуатації. Під зношуванням розуміють поступову зміну розмірів, форми, маси, стану поверхневого шару та фізико-механічних властивостей деталей унаслідок тертя, механічної взаємодії, дії абразивних частинок, корозійного середовища, вібрацій, ударів, температурних факторів і циклічних навантажень [15].

Для деталей автотракторної техніки зношування має особливо важливе значення, оскільки більшість вузлів машин працює в умовах рухомого контакту. Це стосується валів, втулок, підшипників, шестерень, шліцьових з'єднань, шарнірів, пальців, напрямних, гідравлічних елементів, посадкових поверхонь, гальмівних деталей і деталей двигуна. У процесі експлуатації між спряженими поверхнями виникають сили тертя, контактні напруження, мікропереміщення, локальне нагрівання та руйнування мікронерівностей. У результаті відбувається поступове зменшення розмірів деталей, збільшення зазорів, погіршення точності спряження та зміна умов роботи всього вузла [16].

Зношування не є однорідним процесом. У реальних умовах роботи деталей автотракторної техніки рідко спостерігається лише один механізм руйнування

поверхні. Найчастіше діє комплекс факторів: тертя поєднується з абразивним впливом, корозія — з механічним навантаженням, втомне руйнування — з контактними напруженнями, а фретинг — з вібраціями та мікропереміщеннями в посадках. Тому для правильного вибору способу відновлення необхідно встановити не лише факт зношування, а й його механізм, інтенсивність, причину та наслідки для працездатності деталі [17].

У загальному вигляді процес зношування деталей машин можна розглядати як результат взаємодії трьох основних елементів: матеріалу деталі, умов контакту та зовнішнього середовища. Матеріал визначає твердість, міцність, пластичність, структуру й опір руйнуванню поверхневого шару. Умови контакту включають навантаження, швидкість відносного переміщення, площу контакту, режим мащення та температуру. Зовнішнє середовище впливає через наявність пилу, вологи, агресивних речовин, продуктів зношування, палива, мастила або робочих рідин [18].

Для наочного узагальнення основних механізмів руйнування поверхні внаслідок тертя на рис. 1.5 доцільно подати схематичне зображення характерних видів зношування деталей машин.

Одним із найпоширеніших видів зношування деталей автотракторної техніки є абразивне зношування. Воно виникає внаслідок дії твердих частинок, які потрапляють між спряженими поверхнями або контактують із поверхнею деталі під навантаженням. Такими частинками можуть бути пил, пісок, ґрунтові домішки, продукти корозії, частинки металу, залишки зруйнованого покриття або забруднення мастильного матеріалу [18].

Абразивне зношування особливо характерне для сільськогосподарської техніки, яка працює в умовах запиленості та постійного контакту з ґрунтом. Його проявами є подряпини, риски, борозни, зменшення розмірів, зміна шорсткості, утворення овальності отворів і збільшення зазорів у спряженнях. При цьому тверді частинки виконують роль мікрорізців, які зрізають або пластично деформують поверхневий шар металу [19].

Для деталей ходової частини, шарнірів, пальців, втулок, підшипникових вузлів і ґрунтообробних машин абразивне зношування є одним із визначальних

факторів обмеження ресурсу. Якщо забруднення потрапляє в мастило, воно переноситься в зону контакту і багаторазово бере участь у процесі руйнування поверхні. Тому ефективність захисту від абразивного зношування значною мірою залежить від якості ущільнень, фільтрації, мащення та своєчасного технічного обслуговування [20].

Другим поширеним видом є адгезійне зношування. Воно виникає тоді, коли мікронерівності двох контактуючих поверхонь зближуються настільки, що між ними утворюються локальні металеві зв'язки. Під час подальшого відносного переміщення ці мікроділянки руйнуються, частинки матеріалу відриваються від однієї поверхні та можуть переноситися на іншу. У важчих випадках адгезійне зношування переходить у схоплювання або задир, що може швидко призвести до аварійного стану вузла [21].

Адгезійне зношування особливо небезпечне для деталей, які працюють за недостатнього мащення, високого контактного тиску, підвищеної температури або низької якості поверхні. Воно характерне для шийок валів, втулок, напрямних, деталей двигуна, шліцьових з'єднань, підшипників ковзання та інших пар тертя. Основними ознаками є задири, вириви металу, локальне перегрівання, зміна кольору поверхні, підвищення шорсткості й різке збільшення коефіцієнта тертя [22].

Важливе місце займає втомне зношування, яке пов'язане з дією багаторазових контактних навантажень. У поверхневому або підповерхневому шарі деталі поступово накопичуються мікропошкодження, утворюються тріщини, які з часом виходять на поверхню. У результаті відокремлюються частинки матеріалу, з'являються викришування, лущення, раковини або локальні заглиблення [23].

Втомне зношування характерне для зубчастих передач, підшипників кочення, кулачків, роликів, опорних поверхонь, деталей трансмісії та інших елементів, що працюють в умовах циклічного контактного навантаження. Його небезпека полягає в тому, що на початковому етапі поверхня може виглядати майже неушкодженою, але під нею уже розвиваються мікротріщини. Тому для

відповідальних деталей важливе значення має не лише зовнішній огляд, а й застосування методів контролю, які дозволяють виявити приховані дефекти [24].

Окрему групу становить корозійно-механічне зношування. Воно відбувається за одночасної дії механічного контакту та хімічного або електрохімічного впливу середовища. На поверхні деталі утворюються оксидні або корозійні плівки, які під час тертя руйнуються, після чого процес окиснення повторюється. Такий циклічний процес прискорює втрату матеріалу й погіршує стан поверхні [25].

Корозійно-механічне зношування характерне для деталей, що працюють у контакті з вологою, паливом, мастилами, охолоджувальними рідинами, добривами, агресивними домішками або продуктами згоряння. У сільськогосподарській техніці цей вид зношування посилюється через дію ґрунтової вологи, мінеральних добрив, рослинних залишків і сезонного зберігання машин. Його наслідками є корозійні раковини, зниження міцності поверхневого шару, порушення герметичності й прискорене зношування спряжених деталей [26].

Особливе значення для автотракторної техніки має фретинг-зношування. Воно виникає в умовно нерухомих з'єднаннях за наявності малих коливальних переміщень між контактуючими поверхнями. Такі переміщення можуть бути дуже малими за амплітудою, але при тривалій дії вони спричиняють руйнування поверхневого шару, утворення продуктів окиснення, послаблення посадки та розвиток мікротріщин [27].

Фретинг-зношування характерне для посадок під підшипники, шліцьових з'єднань, пресових посадок, фланцевих з'єднань, болтових з'єднань, місць контакту корпусних деталей і валів. У ремонтній практиці цей вид зношування часто проявляється як потемніння або почервоніння контактної зони, наявність дрібного порошкоподібного продукту зношування, послаблення посадки, овальність отвору або зменшення натягу [28].

До важливих видів пошкодження належить також ерозійне зношування. Воно виникає під дією потоку рідини, газу або суміші з твердими частинками, які ударяються об поверхню деталі. У гідравлічних системах, паливній апаратурі,

насосах, клапанах і каналах ерозійне зношування може поєднуватися з кавітаційним руйнуванням. Кавітація виникає внаслідок утворення і схлопування парогазових бульбашок у рідині, що призводить до локальних ударних навантажень на поверхню [29].

Для систематизації основних видів зношування деталей машин у табл. 1.5 наведено їх характеристику, типові прояви та приклади деталей автотракторної техніки.

Таблиця 1.5 – Основні види зношування деталей машин та їх прояви

Вид зношування	Основний механізм виникнення	Типові зовнішні ознаки	Приклади деталей автотракторної техніки
Абразивне	Мікрорізання або пластичне деформування поверхні твердими частинками	Риски, борозни, подряпини, зменшення розмірів	Втулки, пальці, шарніри, деталі ходової частини, ґрунтообробні органи
Адгезійне	Локальне схоплювання мікронерівностей і відрив частинок матеріалу	Задири, вириви, перегрів, підвищена шорсткість	Шийки валів, втулки, підшипники ковзання, напрямні
Втомне	Накопичення мікротріщин під дією циклічних контактних навантажень	Викришування, лущення, раковини, тріщини	Зубчасті колеса, підшипники, кулачки, ролики
Корозійно-механічне	Одночасна дія тертя та хімічного або електрохімічного середовища	Корозійні плями, раковини, шорсткість, ослаблення поверхні	Фланці, корпуси, ущільнювальні поверхні, деталі систем охолодження
Фретинг-зношування	Малі коливальні переміщення в умовно нерухомих з'єднаннях	Темні або руді плями, порошкоподібні продукти зношування, послаблення посадки	Посадки під підшипники, шліци, пресові з'єднання
Ерозійне	Ударна дія потоку рідини, газу або частинок	Локальні заглиблення, вимивання матеріалу, канавки	Деталі гідросистем, насоси, клапани, канали

Кавітаційне	Руйнування поверхні під дією схлопування бульбашок у рідині	Дрібні кратери, виразки, локальне руйнування	Гідравлічні насоси, гільзи, елементи систем охолодження
-------------	--	--	--

Як видно з табл. 1.5, кожен вид зношування має специфічні ознаки, які необхідно враховувати під час дефектації. Помилкове визначення механізму зношування може призвести до неправильного вибору способу відновлення. Наприклад, поверхня, що працює в умовах фретинг-зношування, потребує матеріалу з високою адгезійною міцністю і стабільністю в зоні мікропереміщень, тоді як для абразивного середовища основною вимогою буде зносостійкість і твердість поверхневого шару [30].

Інтенсивність зношування залежить не лише від виду тертя, а й від режиму мащення. За рідинного мащення поверхні розділені мастильною плівкою, тому зношування є мінімальним. За граничного мащення окремі мікронерівності контактують між собою, що підвищує ймовірність адгезійного зношування. За сухого тертя відбувається інтенсивне руйнування поверхні, нагрівання, задири й швидке зростання зносу [31].

Важливим є також поділ зношування за характером розвитку в часі. На початковому етапі після виготовлення або ремонту відбувається припрацювання поверхонь. У цей період інтенсивність зношування може бути підвищеною, оскільки мікронерівності взаємно згладжуються. Далі настає період усталеного зношування, коли швидкість втрати матеріалу є відносно стабільною. Наприкінці ресурсу може початися аварійне зношування, яке супроводжується різким збільшенням зазорів, нагріванням, шумом, вібраціями та ризиком руйнування вузла [32].

Під час відновлення деталей композиційними матеріалами необхідно враховувати, на якому етапі експлуатації виник дефект. Якщо зношування є природним і рівномірним, деталь може бути придатною для відновлення. Якщо ж дефект має аварійний характер, супроводжується тріщинами, перегрівом, глибокими задирками або руйнуванням основного матеріалу, рішення про ремонт повинно прийматися обережно [33].

Отже, основні види зношування деталей машин мають різну природу, різні зовнішні ознаки та різний вплив на працездатність вузлів автотракторної техніки. Для розроблення ефективної технології відновлення необхідно встановити переважний механізм зношування, оцінити ступінь пошкодження, визначити вимоги до відновленого шару та підібрати матеріал, здатний працювати в конкретних умовах експлуатації. Саме тому аналіз видів зношування є базовим етапом обґрунтування застосування композиційних матеріалів у ремонтному виробництві [34].

1.5. Характерні дефекти деталей автотракторної техніки

Дефекти деталей автотракторної техніки є результатом дії експлуатаційних, технологічних, конструктивних і організаційних факторів. Вони можуть виникати внаслідок природного зношування, порушення режимів роботи, недостатнього навантаження, перевантаження, неправильної експлуатації, несвоєчасного технічного обслуговування, корозії, втомного руйнування, неякісного попереднього ремонту або виробничих недоліків [35].

Під дефектом деталі розуміють будь-яке відхилення її стану від вимог конструкторської, технологічної або ремонтної документації. Дефект може стосуватися розміру, форми, взаємного розташування поверхонь, шорсткості, твердості, структури матеріалу, цілісності, герметичності або функціональних властивостей. У ремонтному виробництві важливо не лише виявити дефект, а й визначити його характер: допустимий, ремонтпридатний або такий, що робить деталь непридатною до подальшого використання [36].

Характерні дефекти деталей автотракторної техніки можна поділити на кілька основних груп: розмірні, геометричні, поверхневі, структурні, корозійні, втомні, теплові, монтажні та дефекти з'єднань. Розмірні дефекти проявляються у зменшенні або збільшенні діаметрів, товщини, ширини, висоти чи інших геометричних параметрів. Геометричні дефекти пов'язані з овальністю, конусністю, викривленням, неплосккістю, биттям або порушенням співвісності. Поверхневі дефекти включають подряпини, задири, риски, вм'ятини, сколи, раковини та місцеві вириви матеріалу [37].

Для корпусних деталей типовими є зношування посадкових отворів, порушення співвісності, тріщини, корозійні раковини, пошкодження різьбових отворів, неплотинність поверхонь рознімання та порушення герметичності. Корпуси редукторів, коробок передач, задніх мостів, насосів і гідроагрегатів часто мають локальні дефекти, які не потребують заміни всієї деталі, але вимагають якісного відновлення конкретної поверхні. Саме такі пошкодження є перспективними для усунення композиційними матеріалами [38].

Для валів і осей характерні зношування шийок, посадкових поверхонь, шпонкових пазів, шліцьових ділянок, різьбових кінців, а також прогин, биття, тріщини, задири та сліди перегріву. У багатьох випадках вал зберігає загальну міцність, але втрачає придатність через зменшення діаметра посадкової поверхні або порушення натягу в з'єднанні з підшипником, шестернею чи муфтою [39].

Деталі трансмісії мають дефекти, пов'язані з передаванням крутного моменту та контактними навантаженнями. До них належать зношування зубців, викришування робочих поверхонь зубчастих коліс, зношування шліців, збільшення зазорів, пошкодження підшипникових посадок, тріщини, задири та втомні руйнування. Частина таких дефектів не може бути усунута композиційними матеріалами через високі контактні навантаження, однак локальне відновлення посадкових або допоміжних поверхонь може бути технічно доцільним [40].

Деталі ходової частини працюють у важких умовах, тому для них характерні зношування отворів, пальців, втулок, шарнірів, деформації кронштейнів, тріщини, корозія, ослаблення кріплень і пошкодження посадкових місць. У таких деталях застосування композиційних матеріалів повинно бути обмеженим і обґрунтованим, оскільки багато елементів ходової частини є відповідальними з точки зору безпеки. Водночас для відновлення допоміжних посадкових поверхонь, ущільнювальних ділянок або локальних пошкоджень корпусних елементів композиційні матеріали можуть бути корисними [41].

Для гідравлічних систем типовими є зношування посадкових місць ущільнень, ерозійні пошкодження каналів, корозія, порушення герметичності, зношування корпусів насосів, кришок, розподільників і клапанних елементів.

Основною вимогою до таких деталей є герметичність і стійкість до дії робочої рідини. Тому при використанні композиційних матеріалів необхідно враховувати їх хімічну стійкість до гідравлічних рідин, адгезію до металу та здатність витримувати робочий тиск [42].

Для кращої систематизації характерних дефектів у табл. 1.6 наведено основні групи деталей автотракторної техніки, типові дефекти та можливі напрями їх відновлення.

Таблиця 1.6 – Характерні дефекти деталей автотракторної техніки та можливі напрями їх усунення

Група деталей	Характерні дефекти	Причини виникнення	Можливі напрями відновлення
Корпусні деталі	Зношування отворів, тріщини, раковини, пошкодження різьби, неплоскостність	Вібрації, перевантаження, корозія, фретинг, неправильний монтаж	Відновлення посадок, герметизація, ремонт різьби, локальне нарощування матеріалу
Вали та осі	Зношування шийок, шпонкових пазів, шліців, різьби, биття	Тертя, недостатнє мащення, перевантаження, вібрації	Відновлення посадкових поверхонь, шліфування, нанесення покриттів
Втулки та пальці	Збільшення зазорів, овальність, риси, задири	Абразивне зношування, недостатнє мащення, ударні навантаження	Заміна, розточування, застосування антифрикційних матеріалів
Деталі трансмісії	Зношування зубців, викришування, зношування шліців, посадок	Контактні напруження, циклічні навантаження, недостатнє мащення	Відновлення посадкових поверхонь, заміна відповідальних зубчастих елементів
Гідравлічні деталі	Ерозія, витікання, пошкодження ущільнювальних поверхонь	Тиск рідини, забруднення, кавітація, корозія	Герметизація, відновлення посадок ущільнень, локальний ремонт корпусів
Деталі двигуна	Зношування посадок, тріщини,	Висока температура, тертя,	Обмежене застосування

	корозія, прогари, задири	навантаження, порушення мащення	композицій, переважно для ненавантажених і корпусних зон
Кріпильні з'єднання	Зрив різьби, послаблення, корозія, деформації	Перевантаження, вібрації, неправильне затягування	Відновлення різбових отворів, застосування фіксаторів, втулок або вставок

Як видно з табл. 1.6, найбільш перспективними для відновлення композиційними матеріалами є корпусні деталі, посадкові поверхні, ущільнювальні площини, гнізда під підшипники, різбові отвори, кришки, фланці та інші елементи, де дефект має локальний характер і не пов'язаний із повною втратою міцності деталі.

Окрему увагу слід приділити дефектам посадкових поверхонь. Посадкові поверхні забезпечують правильне взаємне розташування деталей, передавання навантаження, фіксацію підшипників, втулок, шестерень, муфт або ущільнень. Навіть незначне зношування посадки може призвести до порушення натягу, появи мікропереміщень, фретинг-зношування, підвищення шуму, вібрацій і руйнування спряженого елемента. Тому відновлення посадкових поверхонь потребує високої точності та стабільності розмірів [43].

Для ущільнювальних поверхонь основними дефектами є подряпини, риси, корозійні раковини, неплотинність, забоїни та залишки попередніх ремонтів. Такі дефекти можуть спричинити витікання мастила, палива, охолоджувальної або гідравлічної рідини. У багатьох випадках композиційні матеріали можуть бути використані для відновлення герметичності, заповнення локальних раковин і вирівнювання поверхонь [44].

Дефекти різбових отворів і кріпильних елементів часто виникають унаслідок багаторазового розбирання, перевищення моменту затягування, корозії, вібрацій або неправильного монтажу. Зрив різьби в корпусній деталі може зробити неможливим складання вузла без ремонту. Для усунення таких дефектів можуть використовуватися ремонтні вставки, втулки, різбові фіксатори, металополімерні композиції або комбіновані способи [45].

Значну небезпеку становлять тріщини. Вони можуть виникати внаслідок втоми, перевантаження, ударів, внутрішніх напружень, дефектів лиття або неправильного ремонту. Не всі тріщини допускають відновлення. Якщо тріщина розташована в зоні високих навантажень або може призвести до аварійного руйнування, деталь повинна бути вибракувана або відновлена лише за технологією, що забезпечує гарантовану міцність і контроль. Композиційні матеріали можуть використовуватися для герметизації або локального ремонту тріщин у ненавантажених корпусних зонах, але не повинні без обґрунтування застосовуватися для відповідальних силових елементів [46].

Отже, характерні дефекти деталей автотракторної техніки мають різну природу, ступінь небезпеки та ремонтпридатність. Найбільш придатними для відновлення композиційними матеріалами є локальні дефекти посадкових, опорних, ущільнювальних, корпусних і різбових поверхонь. Водночас для відповідальних деталей, що працюють під високими навантаженнями або впливають на безпеку експлуатації, застосування композиційних матеріалів повинно базуватися на ретельній технічній оцінці та контролі якості [47].

1.6. Традиційні способи відновлення зношених деталей

У ремонтному виробництві автотракторної техніки застосовується велика кількість способів відновлення зношених деталей. Їх вибір залежить від матеріалу деталі, характеру дефекту, розміру зношування, вимог до точності, умов подальшої експлуатації, наявного обладнання, економічної доцільності та очікуваного ресурсу після ремонту [48].

Традиційні способи відновлення можна умовно поділити на кілька груп: механічні, зварювально-наплавлювальні, газотермічні, гальванічні, пластичне деформування, встановлення ремонтних елементів, нанесення покриттів і комбіновані методи. Кожна група має свої технологічні можливості, переваги та обмеження.

Найпростішим способом є механічна обробка під ремонтний розмір. Її застосовують тоді, коли зношену поверхню можна обробити до правильної геометричної форми, знявши дефектний шар матеріалу. Такий спосіб широко

використовується для валів, отворів, площин, втулок, гільз, шийок і спряжених поверхонь. Його перевагою є технологічна простота, висока точність і можливість використання звичайного металообробного обладнання [49].

Недоліком механічної обробки під ремонтний розмір є те, що вона не відновлює номінальний розмір деталі, а змінює його. Це потребує використання ремонтних деталей, втулок, вкладишів, кілець або інших суміжних елементів. Крім того, багаторазова обробка під ремонтний розмір обмежена запасом матеріалу деталі. Якщо зношування значне або конструкція не допускає зменшення розміру, такий спосіб стає непридатним [50].

Поширеним способом є встановлення ремонтних втулок, вставок або накладок. Його застосовують для відновлення отворів, посадкових поверхонь, різьбових гнізд і корпусних деталей. Суть методу полягає у видаленні пошкодженого шару, підготовці місця під ремонтний елемент і встановленні втулки або вставки з подальшою механічною обробкою до потрібного розміру. Цей метод забезпечує достатню міцність і точність, але потребує додаткового матеріалу, обробки й іноді послаблює основну деталь через збільшення отвору [51].

Одним із найбільш відомих традиційних способів є зварювання. Його використовують для усунення тріщин, відновлення зламаних частин, приварювання елементів, ремонту корпусних деталей, кронштейнів, рам, кожухів і металоконструкцій. Зварювання дозволяє отримати міцне нероз'ємне з'єднання, але супроводжується тепловим впливом на матеріал деталі. Це може спричинити деформації, залишкові напруження, зміну структури металу, появу тріщин і необхідність додаткової термічної або механічної обробки [52].

Для відновлення зношених поверхонь широко застосовується наплавлення. При наплавленні на поверхню деталі наносять шар металу, який після механічної обробки забезпечує потрібний розмір і властивості. Наплавлення може виконуватися ручним дуговим, автоматичним, напівавтоматичним, плазмовим, газовим або іншими способами. Його перевагою є можливість відновлення значного шару металу та отримання покриття з підвищеною твердістю або зносостійкістю [53].

Водночас наплавлення має суттєві недоліки: значний тепловий вплив, можливе короблення деталі, утворення залишкових напружень, потреба у кваліфікованому персоналі, необхідність подальшої механічної обробки та ризик утворення тріщин. Для тонкостінних, складнопрофільних або точних корпусних деталей цей метод не завжди є доцільним [54].

До традиційних методів належить також газотермічне напилення. Його суть полягає в нанесенні на поверхню деталі розплавлених або нагрітих частинок матеріалу, які формують покриття. Газотермічні методи дозволяють отримувати зносостійкі, корозійностійкі, жаростійкі або антифрикційні покриття. Вони використовуються для відновлення валів, плунжерів, посадкових поверхонь, деталей гідравліки та інших елементів [55].

Перевагою газотермічного напилення є менший тепловий вплив порівняно з наплавленням і можливість нанесення різних матеріалів. Однак покриття часто має пористу структуру, а міцність зчеплення з основою залежить від якості підготовки поверхні. Крім того, обладнання для напилення є відносно складним і не завжди доступним у звичайних ремонтних майстернях [56].

Гальванічні методи відновлення передбачають електрохімічне осадження металу на поверхню деталі. До них належать хромування, нікелювання, залізнення, міднення та інші покриття. Гальванічні методи забезпечують високу точність нарощування, добру якість поверхні, можливість нанесення тонких шарів і підвищення зносостійкості. Вони використовуються для деталей із невеликим зношуванням, коли потрібно відновити розмір без значного нагрівання [57].

Недоліками гальванічних методів є складність технологічного процесу, тривалість операцій, потреба у спеціальних ваннах, хімічних розчинах, системах вентиляції та очищення стоків. Крім того, такі методи мають екологічні обмеження і потребують суворого дотримання вимог охорони праці [58].

Окрему групу становлять методи пластичного деформування. Вони базуються на перерозподілі металу деталі без додавання нового матеріалу. До таких методів належать розкатування, обтискання, осаджування, правка, накатування, розвальцьовування та інші операції. Їх застосовують для

відновлення форми, збільшення діаметра, усунення деформацій або зміцнення поверхневого шару. Перевагою є відсутність додаткового матеріалу, але можливості таких методів обмежені пластичністю металу, формою деталі та величиною дефекту [59].

Для порівняння основних традиційних способів відновлення в табл. 1.7 наведено їх технологічну характеристику.

Таблиця 1.7 – Традиційні способи відновлення зношених деталей автотракторної техніки

Спосіб відновлення	Сфера застосування	Основні переваги	Основні обмеження
Механічна обробка під ремонтний розмір	Вали, отвори, втулки, площини	Простота, точність, доступність	Зміна номінального розміру, потреба в ремонтних деталях
Встановлення ремонтних втулок	Отвори, посадки, корпусні деталі	Відновлення геометрії, достатня міцність	Додаткова обробка, можливе послаблення деталі
Зварювання	Тріщини, злами, корпуси, рами	Міцне з'єднання, доступність	Тепловий вплив, деформації, залишкові напруження
Наплавлення	Вали, осі, робочі поверхні	Нарощування значного шару, зносостійкість	Перегрів, короблення, потреба в механічній обробці
Газотермічне напилення	Вали, посадки, гідравлічні деталі	Різноманітність покриттів, менший нагрів	Складне обладнання, вимоги до підготовки поверхні
Гальванічне нарощування	Деталі з малим зношуванням	Висока точність, якісна поверхня	Хімічна складність, екологічні обмеження
Пластичне деформування	Вали, отвори, тонкостінні елементи	Без додавання матеріалу, зміцнення	Обмежена сфера застосування
Комбіновані методи	Складні дефекти	Гнучкість технології, підвищення якості	Більша трудомісткість і вартість

Як видно з табл. 1.7, традиційні способи відновлення мають значний технологічний потенціал, але не завжди є оптимальними для локальних дефектів,

тонкостінних корпусних деталей, посадкових поверхонь або деталей, чутливих до нагрівання.

Такий рисунок дозволяє показати, що різні способи відновлення не лише усувають дефект, а й по-різному впливають на основний матеріал, геометрію, структуру та подальшу працездатність деталі.

Отже, традиційні способи відновлення зношених деталей є важливою основою ремонтного виробництва. Вони забезпечують широкий спектр технологічних можливостей, однак мають певні обмеження, пов'язані з тепловим впливом, складністю обладнання, зміною розмірів, екологічними вимогами або недостатньою ефективністю при локальних дефектах. Саме ці обмеження створюють передумови для ширшого застосування композиційних матеріалів у відновленні деталей автотракторної техніки [60].

1.7. Переваги та недоліки традиційних методів ремонту

Традиційні методи ремонту деталей автотракторної техніки сформувалися на основі багаторічної виробничої практики й досі залишаються основними в багатьох ремонтних підприємствах. Їх перевагою є відпрацьованість технологічних режимів, наявність обладнання, практичний досвід персоналу та можливість відновлення широкої номенклатури деталей. Водночас сучасні вимоги до ресурсу, економічності, енергоефективності, екологічності та швидкості ремонту виявляють низку недоліків таких методів [48].

Основною перевагою механічної обробки є її доступність і висока точність. Токарна, фрезерна, шліфувальна, розточувальна та свердлильна обробка широко використовується у ремонтних майстернях. Вона дозволяє усунути овальність, конусність, задири, подряпини та інші дефекти поверхні. Проте механічна обробка не відновлює втрачений матеріал, а навпаки додатково знімає шар металу. Через це вона ефективна лише тоді, коли конструкція деталі допускає перехід на ремонтний розмір [49].

Зварювання та наплавлення мають перевагу у здатності відновлювати значні пошкодження й нарощувати металевий шар. Ці методи особливо важливі для ремонту сталевих деталей, рам, кронштейнів, валів, осей і робочих

поверхонь. Однак їх головним недоліком є тепловий вплив. Під дією високої температури в деталі можуть виникати залишкові напруження, структурні зміни, деформації, тріщини й короблення. Для точних посадкових або корпусних деталей це є суттєвим обмеженням [52].

Гальванічні методи мають перевагу високої точності й можливості нанесення тонких покриттів. Вони ефективні при невеликому зношуванні, коли потрібно відновити розмір без значного механічного або теплового впливу. Проте такі методи потребують складного хімічного виробництва, контролю складу електролітів, очищення стічних вод і дотримання суворих екологічних вимог [57].

Газотермічне напилення дозволяє наносити покриття з різними властивостями, зокрема зносостійкі, корозійностійкі та антифрикційні. Його перевагою є менший тепловий вплив порівняно з наплавленням. Проте недоліками є складність обладнання, необхідність ретельної підготовки поверхні, можливість пористості покриття та нижча міцність зчеплення порівняно з металургійним з'єднанням [55].

Встановлення ремонтних втулок і вставок є надійним способом відновлення отворів і посадок. Воно дозволяє отримати правильну геометрію і достатню міцність. Проте цей метод потребує розточування деталі, виготовлення ремонтного елемента, забезпечення натягу або фіксації, а також подальшої обробки. У тонкостінних деталях збільшення отвору під втулку може послабити конструкцію [51].

Для узагальнення переваг і недоліків традиційних методів ремонту в табл. 1.8 наведено їх порівняльну оцінку за основними технологічними критеріями.

Таблиця 1.8 – Порівняльна оцінка переваг і недоліків традиційних методів ремонту

Метод ремонту	Основні переваги	Основні недоліки	Доцільність застосування
Механічна обробка	Простота, точність, доступність	Зняття матеріалу, зміна розміру	При малому зношуванні та наявності ремонтного розміру

Зварювання	Міцне з'єднання, ремонт тріщин і зламів	Тепловий вплив, деформації, тріщини	Для металоконструкцій і не надто точних деталей
Наплавлення	Нарощування шару, висока зносостійкість	Короблення, залишкові напруження	Для валів, осей, робочих поверхонь
Газотермічне напилення	Різноманітність матеріалів покриття	Складність обладнання, пористість	Для валів, гідродеталей, посадок
Гальванічне покриття	Точність, тонкі шари, якісна поверхня	Екологічні й хімічні обмеження	Для деталей з малим зношуванням
Ремонтні втулки	Надійне відновлення отворів	Додаткова обробка, послаблення стінок	Для корпусних деталей із достатньою товщиною
Пластичне деформування	Без додавання матеріалу, зміцнення	Обмежена застосовність	Для деталей із достатньою пластичністю

З табл. 1.8 видно, що жоден традиційний метод не є універсальним. Кожен із них ефективний лише за певних умов. Саме тому в ремонтному виробництві часто використовують комбіновані технології, коли механічна обробка поєднується з наплавленням, втулюванням, шліфуванням, термообробкою або нанесенням покриття.

Головним недоліком багатьох традиційних методів є їх енергоємність і трудомісткість. Наплавлення, зварювання, термічна обробка, шліфування, гальванічне нарощування та виготовлення ремонтних втулок потребують значного часу, обладнання, енергії й кваліфікованого персоналу. У невеликих ремонтних майстернях або аграрних господарствах не завжди є можливість виконати такі операції якісно й оперативно [54].

Ще одним недоліком є те, що традиційні методи часто орієнтовані на відновлення металевої частини деталі без урахування можливості формування спеціальних функціональних властивостей поверхні. Наприклад, після наплавлення або механічної обробки поверхня може мати потрібний розмір, але не завжди оптимальні антифрикційні, демпфувальні, герметизувальні або корозійностійкі властивості. Композиційні матеріали, навпаки, дозволяють цілеспрямовано формувати шар із певним набором властивостей [13].

Отже, традиційні методи ремонту мають важливе значення і не можуть бути повністю замінені альтернативними технологіями. Однак для багатьох локальних дефектів, посадкових поверхонь, корпусних деталей, ущільнювальних площин і деталей складної форми вони можуть бути надмірно складними, дорогими або технологічно невиправданими. Це створює об'єктивні передумови для застосування композиційних матеріалів як доповнення або альтернативи традиційним способам відновлення [5].

1.8. Перспективи використання композиційних матеріалів у ремонтному виробництві

Композиційні матеріали є одним із перспективних напрямів розвитку ремонтного виробництва, оскільки вони дозволяють поєднати технологічну простоту нанесення з можливістю формування відновленого шару із заданими властивостями. У ремонтній практиці найбільше значення мають полімерні, епоксидні, металополімерні, мінералонаповнені, графітонаповнені, кераміконаповнені та антифрикційні композиції [4].

Композиційний матеріал складається з матриці та наповнювача. Матриця забезпечує зв'язування компонентів, адгезію до основи, формоутворення та тверднення. Наповнювачі надають матеріалу потрібних властивостей: підвищують міцність, твердість, теплопровідність, зносостійкість, хімічну стійкість, антифрикційність або здатність до сприйняття навантажень. Завдяки зміні складу композиції можна адаптувати матеріал до конкретних умов роботи деталі [5].

У ремонтному виробництві композиційні матеріали можуть використовуватися для таких завдань:

1. відновлення посадкових поверхонь під підшипники, втулки, кільця та ущільнення;
2. компенсація зношування корпусних деталей;
3. відновлення герметичності фланцевих і площинних з'єднань;
4. заповнення раковин, подряпин, сколів і локальних дефектів;
5. ремонт тріщин у ненавантажених або малонавантажених корпусних зонах;

6. фіксація посадок і усунення мікропереміщень;
7. формування антифрикційних або захисних шарів;
8. відновлення різбових отворів і ущільнювальних канавок.

Основною перевагою композиційних матеріалів є можливість відновлення деталей без значного теплового впливу. Це особливо важливо для корпусних деталей, кришок, фланців, тонкостінних елементів, деталей із чавуну або алюмінієвих сплавів. На відміну від зварювання чи наплавлення, застосування композиційних матеріалів не спричиняє значного короблення, структурних змін або залишкових напружень [12].

Ще однією перевагою є здатність композиційних матеріалів заповнювати нерівності, раковини, мікропорожнини та локальні дефекти. Це дозволяє відновлювати поверхні складної форми, де механічне нарощування або встановлення ремонтної втулки є складним. Крім того, композиційний матеріал може працювати як компенсатор мікронерівностей, забезпечуючи щільний контакт між деталями [13].

Найбільш перспективним напрямом є застосування металополімерних композицій. Вони містять полімерну матрицю та металеві наповнювачі у вигляді порошків сталі, бронзи, алюмінію, міді або інших матеріалів. Такі композиції мають кращу теплопровідність, міцність і технологічну сумісність із металевими деталями порівняно з ненаповненими полімерними матеріалами. Їх можна використовувати для відновлення посадок, корпусів, отворів, площин і поверхонь, що працюють при помірних навантаженнях [45].

Для поверхонь тертя перспективними є антифрикційні композиції з наповнювачами у вигляді графіту, дисульфиду молібдену, фторполімерів, бронзових або мінеральних частинок. Такі матеріали можуть зменшувати коефіцієнт тертя, покращувати припрацювання та знижувати ризик задирів. Вони особливо корисні для втулок, напрямних, ковзних опор і допоміжних поверхонь [46].

Для ущільнювальних поверхонь важливими є композиції, що забезпечують щільність, хімічну стійкість і здатність заповнювати мікронерівності. Їх можна застосовувати для відновлення фланців, кришок, площин рознімання, корпусів

насосів, редукторів і гідроагрегатів. У таких випадках головними вимогами є адгезія, герметичність, стійкість до мастила, палива або робочої рідини [47].

Для систематизації перспективних напрямів застосування композиційних матеріалів у табл. 1.9 наведено їх можливості залежно від виду дефекту.

Таблиця 1.9 – Перспективні напрями застосування композиційних матеріалів у ремонтному виробництві

Вид дефекту або завдання	Типова деталь	Доцільний вид композиційного матеріалу	Очікуваний ефект
Зношування посадкового місця	Корпус редуктора, кришка, опора	Металополімерна композиція	Відновлення натягу, геометрії та фіксації
Корозійні раковини	Фланці, площини рознімання	Полімерна або мінералонаповнена композиція	Відновлення герметичності й рівності поверхні
Зношування ковзної поверхні	Втулка, напрямна, опора	Антифрикційна композиція	Зниження тертя, поліпшення припрацювання
Пошкодження різьбового отвору	Корпусна деталь	Металополімерна композиція або вставка	Відновлення кріплення та фіксації
Локальні сколи й раковини	Кришки, корпуси, картери	Наповнена ремонтна композиція	Заповнення дефекту, відновлення форми
Порушення герметичності	Корпуси насосів, фланці	Герметизувальна композиція	Усунення витоків робочого середовища
Фретинг у посадці	Гніздо під підшипник	Високоадгезійна композиція	Усунення мікропереміщень і відновлення посадки

З табл. 1.9 видно, що композиційні матеріали мають найбільшу перспективу для локального ремонту, де потрібно відновити форму, посадку, герметичність або функціональні властивості поверхні без значного втручання в конструкцію деталі.

Водночас застосування композиційних матеріалів має певні обмеження. Вони не завжди придатні для високотемпературних зон, деталей із великими ударними навантаженнями, сильно навантажених зубчастих передач, відповідальних елементів гальмівної та рульової системи без спеціального

обґрунтування. Полімерна матриця має обмежену теплостійкість, а адгезійна міцність залежить від якості підготовки поверхні. Тому успішність відновлення визначається не лише матеріалом, а й суворим дотриманням технології [48].

Перспективність композиційних матеріалів полягає також у можливості їх використання в умовах невеликих ремонтних майстерень. Для багатьох операцій не потрібне складне зварювальне, гальванічне або напилювальне обладнання. Основними умовами є якісне очищення, механічна підготовка, знежирення, правильне дозування компонентів, дотримання часу життєздатності суміші та режиму тверднення [49].

Отже, композиційні матеріали не слід розглядати як повну заміну традиційним методам ремонту. Їх доцільно використовувати як сучасний технологічний інструмент для тих випадків, де традиційні способи є надмірно складними, дорогими, енергоємними або небажаними через тепловий вплив. Найбільш перспективними сферами застосування є відновлення посадкових поверхонь, корпусних деталей, ущільнювальних площин, локальних пошкоджень і малонавантажених поверхонь тертя [50].

1.9. Аналіз вимог до відновлених деталей автотракторної техніки

Відновлена деталь автотракторної техніки повинна відповідати не лише геометричним розмірам, а й комплексу експлуатаційних, технологічних і безпекових вимог. Основна мета відновлення полягає не просто у заповненні дефекту або поверненні номінального розміру, а в забезпеченні здатності деталі надійно працювати у складі вузла протягом заданого або економічно доцільного ресурсу [51].

Першою групою вимог є геометричні вимоги. Вони включають точність розмірів, форму, співвісність, циліндричність, площинність, перпендикулярність, паралельність, биття та шорсткість поверхні. Для посадкових поверхонь особливо важливими є діаметр, овальність, конусність і якість поверхні. Для фланців і площин рознімання — площинність і шорсткість. Для валів — співвісність, биття й стан шийок [52].

Другою групою є міцнісні вимоги. Відновлена деталь повинна витримувати робочі навантаження без руйнування, пластичної деформації, відшарування покриття або втрати посадки. Якщо застосовується композиційний матеріал, важливими є міцність самого шару, міцність зчеплення з основою, стійкість до стиску, зсуву, вібрацій і контактного тиску [53].

Третьою групою є трибологічні вимоги. Вони стосуються поверхонь, які працюють в умовах тертя. До них належать зносостійкість, коефіцієнт тертя, здатність до припрацювання, сумісність зі спряженим матеріалом, стійкість до задирів і працездатність за наявності мастила або його тимчасового дефіциту. Для композиційних матеріалів це особливо важливо, оскільки різні наповнювачі можуть суттєво змінювати антифрикційні властивості шару [54].

Четверта група — адгезійні вимоги. Для всіх покриттів, шарів і композиційних матеріалів міцність зчеплення з основою є критичним показником. Якщо адгезія недостатня, відновлений шар може відшаруватися навіть тоді, коли сам матеріал має високу міцність. Адгезія залежить від чистоти поверхні, шорсткості, активності металу, відсутності мастила, правильного знежирення, часу нанесення та режиму тверднення [55].

П'ята група — хімічна та температурна стійкість. Відновлена поверхня може контактувати з мастилом, паливом, охолоджувальною рідиною, гідравлічною рідиною, водою, добривами або продуктами згоряння. Тому матеріал повинен не втрачати властивостей під дією робочого середовища. Для композиційних матеріалів також важливо, щоб температура експлуатації не перевищувала допустиму температуру роботи полімерної матриці [56].

Шоста група — технологічні вимоги. Вони включають можливість якісного нанесення матеріалу, оброблюваність після тверднення, стабільність розмірів, достатній час життєздатності суміші, зручність дозування, безпечність виконання робіт і можливість контролю якості. Якщо технологія є надто складною або потребує обладнання, недоступного для ремонтної майстерні, її практична цінність знижується [57].

Для систематизації вимог до відновлених деталей у табл. 1.10 наведено основні групи показників і їх значення для ремонту композиційними матеріалами.

Таблиця 1.10 – Основні вимоги до відновлених деталей автотракторної техніки

Група вимог	Зміст вимог	Значення для відновлення композиційними матеріалами
Геометричні	Розміри, форма, шорсткість, співвісність, площинність	Забезпечують правильне складання та роботу спряження
Міцнісні	Опір стиску, зсуву, вібраціям, контактним навантаженням	Визначають здатність шару працювати без руйнування
Адгезійні	Міцність зчеплення шару з основою	Запобігають відшаруванню композиційного матеріалу
Трибологічні	Зносостійкість, коефіцієнт тертя, припрацювання	Визначають ресурс поверхонь тертя
Хімічні	Стійкість до мастил, палива, рідин, вологи	Забезпечують стабільність матеріалу в робочому середовищі
Температурні	Теплостійкість, стабільність розмірів при нагріванні	Обмежують сферу застосування полімерних композицій
Технологічні	Нанесення, тверднення, оброблюваність, контроль	Визначають практичну придатність технології ремонту
Безпекові	Надійність у відповідальних вузлах	Запобігають аварійним відмовам після ремонту
Економічні	Вартість матеріалу, трудомісткість, ресурс	Визначають доцільність відновлення замість заміни

Як видно з табл. 1.10, якість відновленої деталі є багатфакторним показником. Недостатньо забезпечити лише потрібний розмір. Якщо шар має слабку адгезію, низьку теплостійкість або погану сумісність із робочим середовищем, деталь може швидко втратити працездатність.

Такий рисунок дозволяє показати, що відновлена деталь повинна відповідати сукупності вимог, а не лише одному параметру.

Особливо важливою є вимога прогнозованості ресурсу. Відновлена деталь повинна мати не випадкову, а передбачувану працездатність. Для цього необхідно дотримуватися технологічної дисципліни, контролювати якість поверхні перед

нанесенням матеріалу, забезпечувати правильне тверднення та перевіряти готову деталь перед встановленням у вузол [58].

Під час застосування композиційних матеріалів контроль якості повинен включати перевірку чистоти й шорсткості поверхні, правильності приготування композиції, рівномірності нанесення, відсутності пор, тріщин, відшарувань, дотримання часу тверднення, геометричних параметрів після обробки та відповідності умовам експлуатації. Якщо деталь працює в умовах тиску або герметизації, необхідно додатково перевіряти герметичність [59].

Отже, аналіз вимог до відновлених деталей показує, що технологія ремонту повинна забезпечувати комплекс властивостей: точність, міцність, адгезію, зносостійкість, стійкість до робочого середовища, технологічність і безпечність. Композиційні матеріали можуть відповідати цим вимогам лише за умови правильного вибору складу, якісної підготовки поверхні, дотримання режимів нанесення і тверднення, а також обґрунтованого вибору деталей, для яких такий спосіб відновлення є технічно допустимим [60].

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз стану питання відновлення деталей автотракторної техніки. Встановлено, що ремонтне виробництво є важливою складовою системи технічної експлуатації машин, оскільки забезпечує підтримання їх працездатності, скорочення простоїв, зменшення витрат на запасні частини та раціональне використання матеріальних ресурсів.

Показано, що автотракторна техніка працює в складних умовах, які поєднують дію механічних навантажень, тертя, вібрацій, ударів, абразивного середовища, температурних коливань, вологи, мастильних матеріалів, палива та робочих рідин. Такі умови спричиняють поступове погіршення технічного стану деталей, зміну їх розмірів, порушення форми, зниження герметичності, утворення тріщин, корозійних пошкоджень і зношування робочих поверхонь.

Визначено, що основними видами зношування деталей машин є абразивне, адгезійне, втомне, корозійно-механічне, фретинг-зношування, ерозійне та кавітаційне. У реальних умовах експлуатації автотракторної техніки ці види

зношування часто діють одночасно, що ускладнює дефектацію та вибір раціонального способу ремонту.

Проаналізовано характерні дефекти деталей автотракторної техніки. До найбільш поширених належать зношування посадкових місць, шийок валів, отворів, втулок, шліцьових і різьбових з'єднань, пошкодження ущільнювальних поверхонь, корозійні раковини, тріщини, задири, овальність, конусність, порушення площинності та герметичності. Найбільш придатними для відновлення композиційними матеріалами є локальні дефекти корпусних, посадкових, опорних, ущільнювальних і малонавантажених поверхонь.

Розглянуто традиційні способи відновлення зношених деталей: механічну обробку під ремонтний розмір, встановлення ремонтних втулок, зварювання, наплавлення, газотермічне напилення, гальванічне нарощування, пластичне деформування та комбіновані методи. Встановлено, що ці способи мають значний практичний досвід застосування, однак не завжди є оптимальними для відновлення деталей складної форми, тонкостінних корпусних елементів, посадкових поверхонь і локальних дефектів.

Виявлено основні недоліки традиційних методів ремонту: значний тепловий вплив, можливість деформації деталей, залишкові напруження, висока трудомісткість, потреба у спеціальному обладнанні, екологічні обмеження, зміна ремонтних розмірів і складність відновлення локальних пошкоджень. Саме ці обмеження обґрунтовують необхідність пошуку альтернативних або доповнювальних технологій відновлення.

Обґрунтовано перспективність застосування композиційних матеріалів у ремонтному виробництві. Їх перевагами є можливість відновлення деталей без значного нагрівання, здатність заповнювати локальні дефекти, формування шару з заданими властивостями, зменшення трудомісткості ремонту, підвищення герметичності, відновлення посадок і можливість використання в умовах ремонтних майстерень.

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Загальна характеристика композиційних матеріалів ремонтного призначення

Композиційні матеріали ремонтного призначення є сучасною групою матеріалів, які використовують для відновлення форми, розмірів і працездатності деталей машин. Їх особливість полягає в тому, що вони складаються з двох або більше компонентів, які разом утворюють матеріал із комплексом властивостей, недосяжних для кожного компонента окремо. Основу таких матеріалів зазвичай становить матриця, що забезпечує зв'язування компонентів і формування суцільного шару, а наповнювачі надають матеріалу потрібних фізико-механічних, антифрикційних, зносостійких або герметизувальних властивостей [4].

У ремонтному виробництві композиційні матеріали застосовують переважно для відновлення локально зношених поверхонь, посадкових місць, корпусних деталей, гнізд під підшипники, фланцевих площин, кришок, втулок, різбових отворів, ущільнювальних поверхонь і малонавантажених робочих зон. Їх використання є особливо доцільним тоді, коли застосування традиційних методів ремонту пов'язане зі значним тепловим впливом, складною механічною обробкою, необхідністю спеціального обладнання або ризиком деформації деталі [5].

Важливою перевагою композиційних матеріалів є можливість відновлення деталей без розплавлення основного металу. Це дозволяє уникнути короблення, залишкових напружень, зміни структури металу та порушення геометричної точності. Така особливість має велике значення для корпусних і тонкостінних деталей автотракторної техніки, які можуть втрачати точність після зварювання або наплавлення [12].

Композиційні матеріали також зручні для локального ремонту. Якщо дефект має обмежену площу, немає потреби обробляти всю деталь або виконувати складне нарощування металу. Матеріал наносять лише на пошкоджену ділянку, після чого її формують, витримують до тверднення і за

потреби обробляють до заданих розмірів. Це зменшує трудомісткість ремонту та скорочує час відновлення деталі [13].

Разом із тим композиційні матеріали не є універсальними. Їх не слід застосовувати без обґрунтування для деталей, що працюють при дуже високих температурах, значних ударних навантаженнях, високих контактних напруженнях або безпосередньо впливають на безпеку руху. Тому вибір композиційного матеріалу повинен базуватися на аналізі умов роботи деталі, характеру дефекту, величини навантаження, температурного режиму, вимог до адгезії, зносостійкості та хімічної стійкості [48].

2.2. Структура та властивості полімерних і металополімерних композицій

Полімерні композиції складаються з полімерної матриці, затверджувача, наповнювача та, за потреби, спеціальних добавок. Матриця забезпечує формування суцільної структури матеріалу, його адгезію до поверхні деталі та здатність тверднути після нанесення. У ремонтній практиці часто використовують епоксидні, поліефірні, акрилові, поліуретанові та інші полімерні системи. Найбільше поширення отримали епоксидні композиції завдяки високій адгезії до металів, малій усадці, достатній міцності та добрій технологічності [4].

Металополімерні композиції є різновидом полімерних матеріалів, у яких до полімерної матриці вводять металеві порошки або інші тверді наповнювачі. Наповнювачами можуть бути порошки сталі, чавуну, бронзи, міді, алюмінію, нікелю, а також графіт, керамічні частинки, мінеральні компоненти або антифрикційні добавки. Завдяки цьому металополімерні композиції краще сприймають навантаження, мають вищу теплопровідність, меншу усадку і кращу сумісність із металевими деталями [45].

Структура полімерної композиції визначає її властивості. Якщо матриця має високу адгезійну здатність, а наповнювач рівномірно розподілений у її об'ємі, матеріал здатний формувати міцний і стабільний відновлювальний шар. Якщо ж наповнювач розподілений нерівномірно, у шарі можуть виникати пори, слабкі зони, внутрішні напруження або місця концентрації руйнування [46].

Основними властивостями, які мають значення для ремонтного застосування полімерних і металополімерних композицій, є адгезійна міцність, міцність при стиску, стійкість до зсуву, зносостійкість, твердість, теплостійкість, хімічна стійкість, усадка, оброблюваність і технологічна життєздатність суміші. Для деталей автотракторної техніки особливо важливими є стійкість до мастил, палива, вологи, вібрацій і змінних навантажень [47].

Полімерні композиції доцільно застосовувати для герметизації, заповнення раковин, вирівнювання площин, усунення локальних дефектів і захисту поверхонь. Металополімерні композиції більше придатні для відновлення посадкових поверхонь, гнізд під підшипники, корпусних деталей, валів і опорних зон, де необхідно забезпечити не лише заповнення дефекту, а й достатню механічну міцність відновленого шару [50].

2.3. Класифікація композиційних матеріалів за типом матриці та наповнювача

Класифікація композиційних матеріалів має важливе практичне значення, оскільки дозволяє обґрунтовано вибирати матеріал для конкретного виду ремонту. У ремонтному виробництві композиційні матеріали можна класифікувати за типом матриці, видом наповнювача, функціональним призначенням, умовами тверднення, температурною стійкістю та характером роботи відновленої поверхні [5].

За типом матриці композиційні матеріали поділяють на полімерні, металеві, керамічні та комбіновані. У ремонтній практиці автотракторної техніки найбільше значення мають полімерні й металополімерні композиції, оскільки вони технологічно простіші, не потребують високотемпературного нанесення та можуть використовуватися в умовах ремонтних майстерень [12].

За видом наповнювача композиційні матеріали можуть бути металонаповненими, мінералонаповненими, графітонаповненими, кераміконаповненими, волокнистими та комбінованими. Металеві наповнювачі підвищують міцність, теплопровідність і стабільність матеріалу. Графіт і дисульфід молібдену покращують антифрикційні властивості. Керамічні та

мінеральні наповнювачі підвищують твердість, зносостійкість і хімічну стійкість. Волокнисті компоненти можуть підвищувати опір розтріскуванню та деформаціям [46].

Для систематизації основних груп композиційних матеріалів ремонтного призначення у табл. 2.1 наведено їх класифікацію за матрицею, наповнювачами та сферою застосування.

Таблиця 2.1 – Класифікація композиційних матеріалів ремонтного призначення

Ознака класифікації	Основні групи	Характеристика та сфера застосування
За типом матриці	Епоксидні, поліефірні, акрилові, поліуретанові	Формують основу матеріалу, забезпечують адгезію та тверднення
За видом металевого наповнювача	Сталеві, бронзові, мідні, алюмінієві порошки	Підвищують міцність, теплопровідність і стійкість до навантажень
За антифрикційними добавками	Графіт, дисульфід молібдену, фторполімери	Знижують тертя і покращують припрацювання поверхонь
За мінеральними наповнювачами	Кварц, оксиди, карбіди, керамічні частинки	Підвищують твердість, зносостійкість і хімічну стійкість
За призначенням	Відновлювальні, герметизувальні, антифрикційні, захисні	Використовуються залежно від характеру дефекту і умов роботи
За умовами тверднення	Холодного і теплового тверднення	Вибираються залежно від можливостей ремонтної ділянки

Як видно з табл. 2.1, вибір композиційного матеріалу повинен бути пов'язаний із конкретним видом дефекту. Для посадкових поверхонь доцільні металополімерні композиції, для ущільнювальних площин — герметизувальні полімерні матеріали, для поверхонь тертя — антифрикційні композиції, а для зон абразивного впливу — матеріали з твердими наповнювачами [47].

2.4. Вимоги до матеріалів для відновлення посадкових, опорних і робочих поверхонь

Матеріали для відновлення деталей автотракторної техніки повинні відповідати умовам роботи конкретної поверхні. Посадкові, опорні та робочі

поверхні виконують різні функції, тому й вимоги до відновлювального матеріалу для них відрізняються [51].

Для посадкових поверхонь головними вимогами є адгезійна міцність, стійкість до контактного тиску, здатність забезпечувати необхідний натяг або щільність посадки, стабільність розмірів після тверднення і відсутність відшарування під дією вібрацій. Такі поверхні часто працюють у вузлах підшипників, втулок, кілець, корпусних деталей і валів. Навіть незначна втрата геометрії посадки може призвести до мікропереміщень, фретинг-зношування, підвищення шуму й руйнування спряжених деталей [27].

Для опорних поверхонь важливими є міцність при стиску, рівномірність розподілу навантаження, стійкість до деформацій і здатність зберігати форму протягом експлуатації. Якщо опорна поверхня має локальні просідання, раковини або нерівності, це може призвести до перекосу вузла, нерівномірного навантаження та прискореного зношування інших деталей [53].

Для робочих поверхонь, які безпосередньо беруть участь у терті, головними є зносостійкість, антифрикційні властивості, сумісність зі спряженим матеріалом і мастильним середовищем. Якщо поверхня працює в умовах абразивного впливу, матеріал повинен мати достатню твердість і стійкість до мікрорізання. Якщо переважає тертя ковзання, важливішими є низький коефіцієнт тертя, здатність до припрацювання і стійкість до задирів [54].

Окремо слід враховувати температурні та хімічні умови експлуатації. Композиційний матеріал не повинен втрачати міцність при робочих температурах, розм'якшуватися, набухати від мастил або руйнуватися під дією палива, гідравлічних і охолоджувальних рідин. Тому для кожної деталі необхідно зіставляти властивості матеріалу з реальними умовами його роботи [56].

Для узагальнення вимог до матеріалів залежно від типу поверхні у табл. 2.2 наведено основні критерії вибору композиційного матеріалу.

Таблиця 2.2 – Вимоги до композиційних матеріалів залежно від типу відновлюваної поверхні

Тип поверхні	Основні вимоги	Доцільний тип композиційного матеріалу
--------------	----------------	--

Посадкова поверхня	Адгезія, міцність при стиску, стійкість до вібрацій, стабільність розмірів	Металополімерна композиція
Опорна поверхня	Несуча здатність, рівномірність шару, стійкість до деформацій	Наповнена полімерна або металополімерна композиція
Ущільнювальна поверхня	Герметичність, хімічна стійкість, щільність, мала усадка	Полімерна герметизувальна композиція
Поверхня тертя	Зносостійкість, антифрикційність, сумісність із мастилом	Антифрикційна композиція
Поверхня з абразивним впливом	Твердість, опір мікрорізанню, міцність шару	Кераміко- або мінералонаповнена композиція

Дані табл. 2.2 показують, що вибір композиційного матеріалу не може бути однаковим для всіх деталей. Матеріал повинен відповідати не загальній назві деталі, а функції конкретної відновлюваної поверхні.

2.5. Вплив наповнювачів на фізико-механічні властивості композицій

Наповнювачі є одним із головних компонентів композиційного матеріалу, оскільки саме вони значною мірою визначають його міцність, твердість, теплопровідність, зносостійкість, усадку, антифрикційні властивості та здатність працювати під навантаженням. Правильно підібраний наповнювач дозволяє адаптувати композицію до конкретних умов ремонту [46].

Металеві наповнювачі підвищують міцність і теплопровідність композиції. Вони зменшують усадку матеріалу після тверднення, покращують його оброблюваність і забезпечують більшу сумісність із металевою основою деталі. Такі наповнювачі доцільні для відновлення посадкових місць, корпусних деталей, гнізд під підшипники та поверхонь, що сприймають помірні контактні навантаження [45].

Мінеральні й керамічні наповнювачі підвищують твердість, стійкість до абразивного зношування і хімічну стійкість композиції. Водночас надмірна кількість твердих частинок може зробити матеріал крихким і знизити його стійкість до ударних навантажень. Тому їх застосування доцільне там, де

головним фактором руйнування є абразивний вплив, але немає значних ударів або згинальних деформацій [54].

Антифрикційні наповнювачі, зокрема графіт, дисульфід молібдену та фторполімерні добавки, знижують коефіцієнт тертя, покращують припрацювання й можуть зменшувати ризик задирів. Такі композиції використовують для поверхонь ковзання, втулок, напрямних, опор і допоміжних пар тертя [46].

Волокнисті наповнювачі можуть підвищувати стійкість матеріалу до розтріскування, деформацій і локального руйнування. Проте вони ускладнюють рівномірне нанесення композиції і потребують ретельного перемішування. У ремонтній практиці їх доцільно застосовувати там, де важливо підвищити тріщиностійкість і стабільність шару [47].

Таким чином, наповнювачі не є другорядним компонентом композиції. Вони визначають функціональне призначення матеріалу, його поведінку під навантаженням і довговічність відновленої поверхні. При виборі наповнювача необхідно враховувати характер дефекту, тип поверхні, температуру, середовище роботи та очікуваний рівень навантаження [50].

2.6. Адгезійна міцність як основний показник працездатності відновленого шару

Адгезійна міцність є одним із найважливіших показників якості відновлення деталей композиційними матеріалами. Навіть якщо сам композиційний матеріал має високу міцність, твердість і зносостійкість, недостатнє зчеплення з основою може призвести до відшарування, появи тріщин, втрати геометрії або повного руйнування відновленого шару [55].

Адгезія залежить від багатьох чинників: матеріалу основи, шорсткості поверхні, чистоти металу, наявності оксидних плівок, залишків мастила, вологи, температури нанесення, правильності приготування композиції та режиму тверднення. Найбільш небезпечними для адгезії є забруднення мастилом, недостатнє знежирення, гладка поверхня без мікрорельєфу, нанесення матеріалу

після тривалої перерви після підготовки та порушення пропорцій компонентів [56].

Для підвищення адгезійної міцності поверхню перед нанесенням композиції необхідно очистити, знежирити, надати їй необхідної шорсткості та, за потреби, активувати. Механічна підготовка створює мікронерівності, у які проникає композиційний матеріал. Після тверднення формується не лише хімічне або фізико-хімічне зчеплення, а й механічне зачеплення шару з основою [57].

Особливо високі вимоги до адгезії висуваються при відновленні посадкових поверхонь, підшипникових гнізд, валів, втулок і корпусних деталей, які працюють під дією вібрацій або змінних навантажень. У таких умовах слабка адгезія швидко призводить до відшарування, фретинг-зношування або повторної втрати посадки [27].

Отже, адгезійна міцність є базовою умовою працездатності відновленого шару. Саме тому у технологічному процесі відновлення найбільшу увагу необхідно приділяти підготовці поверхні, знежиренню, дотриманню часу нанесення та правильному режиму тверднення композиційного матеріалу [58].

2.7. Зносостійкість композиційних покриттів в умовах тертя та абразивного впливу

Зносостійкість композиційного покриття визначає його здатність протидіяти втраті матеріалу під час тертя, контакту з абразивними частинками, дії навантажень і робочого середовища. Для деталей автотракторної техніки цей показник має велике значення, оскільки значна частина вузлів працює в умовах забруднення, пилу, мастил, вібрацій і змінних режимів навантаження [18].

У композиційних матеріалах зносостійкість залежить від властивостей матриці, типу наповнювача, його кількості, розміру частинок, рівномірності розподілу та міцності зв'язку між матрицею і наповнювачем. Якщо наповнювач підібраний правильно, він може значно підвищити опір абразивному зношуванню, зменшити коефіцієнт тертя або покращити припрацювання поверхні [46].

В умовах абразивного зношування важливо, щоб композиційний шар мав достатню твердість і стійкість до мікрорізання. Для цього доцільно використовувати матеріали з мінеральними або керамічними наповнювачами. Водночас надмірне підвищення твердості не завжди є позитивним, оскільки занадто крихкий шар може руйнуватися під дією ударів або вібрацій [54].

В умовах тертя ковзання важливішими є антифрикційні властивості. У цьому випадку до композиції можуть вводитися графіт, дисульфід молібдену або інші тверді мастильні компоненти. Такі добавки зменшують тертя, полегшують припрацювання і можуть підвищити стабільність роботи поверхні при недостатньому мащенні [46].

Для деталей автотракторної техніки важливо враховувати, що зносостійкість композиційного шару повинна оцінюватися не ізольовано, а разом з адгезією. Якщо покриття є зносостійким, але погано тримається на основі, воно не забезпечить надійної роботи. Тому оптимальним є матеріал, який поєднує достатню зносостійкість, міцність, адгезію та відповідність умовам експлуатації [55].

2.8. Технологічність застосування композиційних матеріалів у ремонтній практиці

Технологічність композиційного матеріалу визначає можливість його ефективного використання в реальних умовах ремонтного виробництва. Для ремонтної практики важливо, щоб матеріал був зручним у приготуванні, мав достатній час життєздатності, добре наносився на поверхню, не потребував складного обладнання, забезпечував стабільне тверднення та допускав подальшу механічну обробку [57].

Однією з переваг композиційних матеріалів є можливість їх застосування без високотемпературного обладнання. У багатьох випадках достатньо мати засоби очищення, знежирення, механічної підготовки поверхні, пристрої для центрування або формування шару, вимірювальний інструмент і умови для витримки деталі до повного тверднення [49].

Водночас технологія роботи з композиційними матеріалами потребує високої дисципліни. Необхідно точно дотримуватися співвідношення компонентів, часу перемішування, температурних умов, допустимого часу нанесення, товщини шару та режиму полімеризації. Порушення цих вимог може призвести до неповного тверднення, пористості, слабкої адгезії або нестабільності розмірів [58].

Технологічність також залежить від можливості механічної обробки матеріалу після тверднення. Для посадкових поверхонь часто необхідно забезпечити точний розмір, тому композиційний шар повинен допускати точіння, розточування, шліфування або припасування без викришування й відшарування [52].

Таким чином, композиційні матеріали є технологічно зручними для ремонтної практики, але лише за умови правильного виконання всіх операцій. Їх перевага полягає не в повній простоті, а в можливості якісного локального відновлення без складних високотемпературних або хімічних процесів [50].

2.9. Обґрунтування вибору композиційного матеріалу для відновлення деталей автотракторної техніки

Для відновлення деталей автотракторної техніки доцільно обирати композиційний матеріал, який забезпечує поєднання адгезійної міцності, механічної стійкості, зносостійкості, хімічної стійкості та технологічності. З огляду на характер типових дефектів найбільш обґрунтованим є використання металополімерної композиції на основі епоксидної матриці з металевим або комбінованим наповнювачем [45].

Такий матеріал є доцільним для відновлення посадкових місць під підшипники, зношених отворів корпусних деталей, кришок, фланців, опорних поверхонь і локальних пошкоджень. Епоксидна матриця забезпечує адгезію до металевої основи, а металевий наповнювач підвищує міцність, теплопровідність, стабільність розмірів і здатність сприймати контактні навантаження [47].

Для поверхонь, що працюють в умовах тертя, доцільно застосовувати композиції з антифрикційними добавками. Для поверхонь, які зазнають

абразивного впливу, перевагу слід надавати матеріалам із твердими мінеральними або керамічними наповнювачами. Для ущільнювальних поверхонь більш важливими є герметичність, мала усадка та хімічна стійкість [54].

У цій роботі як базовий варіант для розроблення технології відновлення доцільно прийняти металополімерну композицію на епоксидній основі з металевим наповнювачем. Такий вибір пояснюється тим, що більшість типових ремонтпридатних дефектів автотракторної техніки пов'язана саме з локальним зношуванням посадкових, корпусних та опорних поверхонь, де важливими є адгезія, стабільність форми та здатність витримувати помірні механічні навантаження [50].

Вибраний тип матеріалу не виключає застосування інших композицій у спеціальних випадках. Якщо відновлюється ущільнювальна площина, доцільною може бути герметизувальна полімерна композиція. Якщо відновлюється поверхня ковзання — антифрикційна. Якщо поверхня працює в абразивному середовищі — зносостійка мінералонаповнена композиція. Однак для універсального ремонтного процесу корпусних і посадкових деталей металополімерний матеріал є найбільш раціональним варіантом [55].

Висновки до розділу 2

У другому розділі обґрунтовано вибір композиційних матеріалів для відновлення деталей автотракторної техніки. Встановлено, що композиційні матеріали ремонтного призначення є перспективною групою матеріалів, які дозволяють відновлювати локально зношені поверхні, посадкові місця, корпусні деталі, ущільнювальні площини, різьбові отвори та інші дефектні зони без значного теплового впливу на основний матеріал.

Розглянуто структуру полімерних і металополімерних композицій. Показано, що їх властивості визначаються типом матриці, видом наповнювача, рівномірністю структури, якістю підготовки поверхні та режимом тверднення. Найбільш доцільними для ремонтної практики автотракторної техніки є епоксидні та металополімерні композиції, які поєднують достатню адгезію, міцність, технологічність і здатність до механічної обробки.

Встановлено, що для посадкових поверхонь головними вимогами є адгезійна міцність, стабільність розмірів і стійкість до контактних навантажень; для опорних поверхонь — міцність і рівномірність шару; для поверхонь тертя — зносостійкість та антифрикційність; для ущільнювальних поверхонь — герметичність і хімічна стійкість.

Обґрунтовано, що як базовий матеріал для подальшої розробки технологічного процесу доцільно використовувати металополімерну композицію на епоксидній основі з металевим наповнювачем. Такий матеріал найбільш повно відповідає умовам відновлення посадкових, корпусних і опорних поверхонь деталей автотракторної техніки.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

3.1. Вибір типових деталей автотракторної техніки для відновлення

Розроблення технологічного процесу відновлення доцільно виконувати на прикладі типових деталей автотракторної техніки, які часто мають локальні дефекти й водночас зберігають достатню залишкову міцність. До таких деталей належать корпуси редукторів, кришки підшипникових вузлів, картери, фланці, втулки, опори, гнізда під підшипники, посадкові поверхні валів і різьбові отвори корпусних деталей [38].

Найбільш доцільними для відновлення композиційними матеріалами є деталі, у яких дефект не супроводжується критичним руйнуванням основного матеріалу. Якщо деталь має локальне зношування, раковини, пошкодження посадки, порушення герметичності або незначні дефекти поверхні, її відновлення може бути економічно й технологічно виправданим [50].

Для систематизації типових деталей, які можуть бути відновлені композиційними матеріалами, у табл. 3.1 наведено їх характеристику.

Таблиця 3.1 – Типові деталі автотракторної техніки, придатні для відновлення композиційними матеріалами

Деталь або поверхня	Характерний дефект	Доцільність застосування композиційного матеріалу
Гніздо під підшипник у корпусі	Зношування, послаблення посадки, овальність	Висока, за умови помірного навантаження
Кришка підшипникового вузла	Зношування посадки, раковини, порушення герметичності	Висока
Фланцева площина	Подряпини, корозія, неплощинність, витікання	Висока для герметизації та вирівнювання
Посадкова поверхня вала	Локальне зношування, послаблення посадки	Можлива за помірних навантажень
Різьбовий отвір у корпусі	Зрив або зношування різьби	Можлива в поєднанні з ремонтними вставками
Корпус насоса або редуктора	Раковини, локальні дефекти, порушення герметичності	Висока для ненавантажених зон

З табл. 3.1 видно, що композиційні матеріали доцільно застосовувати переважно для відновлення локальних дефектів. Відповідальні силові деталі,

елементи гальмівної системи, рульового керування або високонавантажені зубчасті передачі не повинні відновлюватися такими матеріалами без спеціального розрахункового й експериментального обґрунтування [46].

3.2. Аналіз дефектів і визначення ремонтпридатності деталей

Перед вибором технології відновлення необхідно визначити характер дефекту та ремонтпридатність деталі. Ремонтпридатною вважається така деталь, яка після усунення дефекту може забезпечити безпечну й надійну роботу у вузлі протягом заданого ресурсу [36].

Основними критеріями ремонтпридатності є залишкова міцність деталі, розташування дефекту, величина зношування, наявність тріщин, умови навантаження, можливість якісної підготовки поверхні, доступність дефектної зони для нанесення матеріалу та економічна доцільність ремонту. Якщо дефект розташований у зоні високих напружень або має ознаки розвитку тріщини, відновлення композиційним матеріалом може бути недопустимим [46].

Для посадкових поверхонь важливо встановити величину зношування, овальність, конусність, наявність слідів фретинг-зношування та ступінь послаблення посадки. Якщо зношування незначне або середнє, а основний матеріал не має тріщин, відновлення металополімерною композицією може бути доцільним [43].

Для ущільнювальних поверхонь оцінюють глибину подряпин, наявність корозійних раковин, площинність і можливість забезпечення герметичності після ремонту. Для різьбових отворів визначають ступінь пошкодження різьби, товщину стінки, можливість встановлення вставки або формування нового різьбового з'єднання [45].

Отже, аналіз дефектів є обов'язковим етапом перед нанесенням композиційного матеріалу. Без оцінки ремонтпридатності існує ризик відновлення деталі, яка не забезпечить необхідної надійності в експлуатації.

3.3. Дефектація деталей перед відновленням

Дефектація деталей перед відновленням включає комплекс операцій, спрямованих на виявлення пошкоджень, оцінювання технічного стану та прийняття рішення щодо подальшого використання деталі. Вона виконується після очищення деталі від забруднень, мастила, продуктів корозії та залишків старих покриттів [35].

Під час дефектації застосовують зовнішній огляд, вимірювання геометричних параметрів, контроль шорсткості, перевірку площинності, співвісності, овальності, конусності та биття. Для виявлення тріщин можуть використовуватися капілярні, магнітопорошкові або інші методи неруйнівного контролю, якщо це передбачено умовами ремонту [36].

Особливу увагу слід приділяти прихованим дефектам. Деталь може мати незначне зовнішнє зношування, але при цьому містити тріщини, внутрішні напруження або зони ослаблення. Такі дефекти є небезпечними, оскільки після нанесення композиційного матеріалу вони можуть залишитися непоміченими, але проявитися під час експлуатації [37].

За результатами дефектації деталі поділяють на три групи: придатні без ремонту, придатні після відновлення та непридатні до подальшого використання. Для подальшого технологічного процесу відбирають лише ті деталі, які не мають критичних пошкоджень і можуть забезпечити необхідну надійність після відновлення [11].

3.4. Вибір способу очищення та підготовки поверхні

Очищення є одним із найважливіших етапів підготовки деталі до відновлення композиційними матеріалами. Наявність мастила, пилу, продуктів корозії, оксидів, залишків старих герметиків або лакофарбових покриттів різко погіршує адгезію матеріалу до основи [55].

Спосіб очищення вибирають залежно від характеру забруднення, матеріалу деталі, форми поверхні та вимог до подальшого нанесення композиції. Застосовують механічне очищення, промивання, знежирення, очищення щітками, абразивну обробку, продування стисненим повітрям, використання спеціальних розчинників або комбіновані способи [57].

Для деталей автотракторної техніки особливо важливо видалити мастильні забруднення, оскільки вони глибоко проникають у мікронерівності, пори чавуну, різьбові отвори та поверхневі дефекти. Якщо мастило залишиться на поверхні, композиційний матеріал може не зчепитися з основою, а відновлений шар відшарується під час роботи [56].

Підготовлена поверхня повинна бути сухою, чистою, знежиреною і мати необхідну шорсткість. Очищення слід виконувати безпосередньо перед нанесенням матеріалу, щоб уникнути повторного окиснення або забруднення поверхні.

3.5. Механічна підготовка поверхні перед нанесенням композиційного матеріалу

Механічна підготовка поверхні необхідна для створення мікрорельєфу, який забезпечує краще механічне зачеплення композиційного матеріалу з основою. Гладка або полірована поверхня має меншу площу контакту і гірші умови для адгезії, тому її необхідно шорсткувати [55].

До способів механічної підготовки належать шліфування, обробка абразивною шкуркою, насікання, нарізання канавок, дробоструминна або піскоструминна обробка, розточування з утворенням потрібної шорсткості, свердління допоміжних заглиблень або створення утримувального профілю. Вибір способу залежить від типу деталі та характеру дефекту [57].

Для посадкових поверхонь доцільно створювати рівномірну шорсткість, яка забезпечує адгезію, але не порушує геометрію деталі надмірно. Для великих локальних дефектів можуть виконуватися додаткові канавки або насічки, які підвищують механічну фіксацію шару [58].

Після механічної підготовки поверхню необхідно повторно очистити від пилу, абразивних частинок і металевої стружки. Залишки абразиву або пилу можуть погіршити якість шару, створити пори або ослабити контакт композиції з основою.

3.6. Знежирення, активація та забезпечення адгезії відновлюваної поверхні

Знежирення є обов'язковою операцією перед нанесенням композиційного матеріалу. Воно забезпечує видалення мастила, палива, технологічних рідин і тонких забруднювальних плівок, які не завжди помітні під час зовнішнього огляду [56].

Для знежирення можуть застосовуватися спеціальні очищувачі, органічні розчинники або інші засоби, дозволені для відповідних матеріалів і умов праці. Після знежирення поверхня не повинна контактувати з руками, мастильними матеріалами або забрудненим інструментом. Усі подальші операції бажано виконувати в рукавичках і чистим інструментом [57].

Активація поверхні полягає у створенні умов для кращого зчеплення матеріалу з основою. Вона може досягатися механічним шорсткуванням, хімічним очищенням, швидким нанесенням композиції після підготовки або використанням адгезійних проміжних шарів, якщо це передбачено технологією [55].

Забезпечення адгезії є критично важливим для відновленого шару. Саме якість контакту між основою і композицією визначає, чи буде матеріал працювати як єдине ціле з деталлю, чи відшарується під дією навантаження, вібрацій або температурних змін [58].

3.7. Приготування композиційного матеріалу до нанесення

Приготування композиційного матеріалу повинно виконуватися відповідно до вимог технології та рекомендацій виробника матеріалу. Основними операціями є дозування компонентів, змішування матриці з затверджувачем, введення або рівномірний розподіл наповнювача та підготовка суміші до нанесення [57].

Особливо важливо дотримуватися правильного співвідношення компонентів. Надлишок або нестача затверджувача може призвести до неповного тверднення, зниження міцності, підвищеної крихкості або липкості шару.

Нерівномірне перемішування може спричинити утворення зон із різними властивостями [58].

Після змішування композиційний матеріал має обмежений час життєздатності. Протягом цього часу його потрібно нанести на поверхню, сформувати шар і забезпечити потрібне положення деталі або оснащення. Якщо матеріал почав втрачати пластичність, його не слід використовувати для відповідального відновлення [49].

Приготування композиції необхідно виконувати в чистому посуді, з використанням сухого інструменту, без потрапляння пилу, мастила, вологи або сторонніх домішок. Якість приготування матеріалу безпосередньо впливає на міцність і довговічність відновленого шару.

3.8. Нанесення композиційного матеріалу на зношену поверхню

Нанесення композиційного матеріалу виконують після завершення очищення, механічної підготовки, знежирення і приготування суміші. Матеріал наносять на підготовлену поверхню рівномірним шаром із невеликим надлишком, який дозволяє компенсувати усадку, забезпечити заповнення нерівностей і виконати подальшу механічну обробку [57].

Під час нанесення важливо уникати утворення повітряних пор, непромазаних ділянок і розривів шару. Для цього матеріал необхідно втирати в поверхню, особливо якщо вона має канавки, насічки або мікронерівності. При відновленні отворів, посадкових гнізд або циліндричних поверхонь доцільно застосовувати оправки, центрувальні елементи або формувальні пристрої [58].

Якщо відновлюється посадка під підшипник, композицію наносять на підготовлену поверхню корпусу або вала, після чого встановлюють формувальний елемент чи спряжену деталь, оброблену розділювальним складом. Це дозволяє сформувати точну геометрію посадкової поверхні. Якщо відновлюється площа, матеріал розподіляють шпателем або іншим інструментом із контролем товщини шару [49].

Якість нанесення значною мірою визначає подальший результат. Навіть правильно підібраний матеріал не забезпечить потрібної працездатності, якщо

він нанесений нерівномірно, на забруднену поверхню або після втрати життєздатності суміші.

3.9. Формування відновлюваного шару та забезпечення заданої геометрії

Формування відновлюваного шару полягає у наданні композиційному матеріалу необхідної форми, товщини й положення відносно базових поверхонь деталі. Ця операція особливо важлива для посадкових поверхонь, отворів, фланців і опорних зон, де від точності геометрії залежить робота всього вузла [52].

Для забезпечення заданої геометрії можуть використовуватися оправки, калібри, тимчасові вставки, шаблони, центрувальні елементи, рознімні форми або спряжені деталі. Поверхні формувальних елементів, які не повинні приклеїтися до композиції, необхідно покривати розділювальним складом [57].

Товщина шару повинна бути достатньою для компенсації зношування, але не надмірною. Занадто тонкий шар може не забезпечити міцності й компенсації дефекту, а занадто товстий — мати підвищену усадку, внутрішні напруження або нижчу стабільність під навантаженням [58].

Після формування шару деталей необхідно залишити у нерухомому положенні до завершення початкового тверднення. Будь-яке зміщення оправки, підшипника, шаблону або самої деталі може порушити геометрію відновленої поверхні.

3.10. Тверднення композиційного матеріалу та контроль режимів полімеризації

Тверднення композиційного матеріалу є процесом переходу суміші з пластичного стану у твердий із формуванням необхідної структури та властивостей. Для полімерних і металополімерних композицій цей етап має вирішальне значення, оскільки саме під час тверднення формується міцність, адгезія, твердість і стабільність шару [57].

Режим тверднення залежить від типу матеріалу. Деякі композиції твердіють за кімнатної температури, інші потребують додаткового нагрівання або витримки протягом тривалого часу. У будь-якому випадку необхідно дотримуватися рекомендованої температури, вологості, часу витримки й умов нерухомості деталі [58].

Недостатній час тверднення може призвести до низької міцності, підвищеної пластичності, поганої оброблюваності та втрати форми. Надмірне нагрівання або неправильний режим полімеризації може спричинити внутрішні напруження, тріщини або погіршення адгезії [56].

Контроль режиму тверднення повинен включати перевірку часу витримки, температури навколишнього середовища, відсутності навантаження на шар до завершення тверднення та готовності деталі до подальшої обробки. До механічної обробки або складання вузла слід переходити лише після досягнення матеріалом необхідної міцності.

3.11. Механічна обробка відновленої поверхні

Після тверднення композиційного матеріалу відновлену поверхню за потреби обробляють до заданих розмірів, форми й шорсткості. Механічна обробка може включати точіння, розточування, шліфування, фрезерування, припасування, зачищення або доведення поверхні [52].

Для посадкових поверхонь основною метою обробки є забезпечення потрібного діаметра, циліндричності, овальності, конусності та шорсткості. Для фланцевих і ущільнювальних поверхонь важливими є площинність, рівномірність контакту й відсутність подряпин або пор. Для різьбових отворів — правильний профіль і надійність кріплення [51].

Під час обробки композиційного шару необхідно уникати надмірних навантажень, перегрівання, ударів і вібрацій. Режими різання повинні забезпечувати чисте знімання матеріалу без викришування, відшарування або розтріскування. Якщо матеріал має металевий наповнювач, його обробка може відрізнятися від обробки чистого полімеру [57].

Після механічної обробки деталей очищають від стружки, пилу та залишків абразиву. Потім проводять вимірювання основних параметрів і визначають придатність деталі до складання або подальших операцій.

3.12. Контроль якості відновлених деталей

Контроль якості є завершальним і обов'язковим етапом технологічного процесу відновлення. Його мета — підтвердити, що відновлена деталь відповідає вимогам щодо геометрії, адгезії, міцності, герметичності, зовнішнього стану та придатності до подальшої експлуатації [59].

Контроль починають із зовнішнього огляду. Перевіряють відсутність тріщин, пор, відшарувань, непротверділих ділянок, раковин, сторонніх включень і нерівномірності шару. Далі виконують вимірювання розмірів, перевірку форми, шорсткості, співвісності, площинності або биття залежно від типу деталі [52].

Для посадкових поверхонь контролюють діаметр, овальність, конусність і щільність посадки спряженої деталі. Для ущільнювальних поверхонь перевіряють площинність і герметичність. Для корпусних деталей важливо оцінити правильність взаємного розташування отворів і посадкових місць [43].

Якщо деталь працює в умовах тиску або контакту з рідиною, доцільно виконати випробування на герметичність. Якщо деталь працює під вібрацією або у відповідальному вузлі, необхідно особливо уважно перевірити якість адгезії та відсутність ознак відшарування [58].

Деталь допускають до експлуатації лише після підтвердження її відповідності технічним вимогам. Якщо виявлено дефекти відновленого шару, необхідно прийняти рішення про повторне відновлення, додаткову обробку або вибракування деталі.

3.13. Розроблення технологічної карти відновлення деталі

Для практичного використання запропонованої технології необхідно оформити технологічну карту відновлення деталі. У ній зазначають послідовність операцій, зміст робіт, обладнання, матеріали, інструмент і

контрольні параметри. Такий документ дозволяє стандартизувати процес ремонту і зменшити ймовірність технологічних помилок [57].

Як приклад у табл. 3.2 наведено технологічну карту відновлення зношеного посадкового місця під підшипник у корпусній деталі автотракторної техніки металополімерною композицією.

Таблиця 3.2 – Технологічна карта відновлення посадкового місця під підшипник металополімерною композицією

№ операції	Назва операції	Зміст виконання	Контроль
1	Очищення деталі	Видалення мастила, бруду, корозії та залишків старих матеріалів	Візуальна чистота поверхні
2	Попередня дефектація	Огляд, визначення характеру дефекту, перевірка тріщин	Рішення про ремонтпридатність
3	Вимірювання посадки	Визначення діаметра, овальності, конусності та величини зношування	Порівняння з допустимими значеннями
4	Механічна підготовка	Шорсткування, створення мікрорельєфу, за потреби — канавок	Рівномірність підготовки
5	Знежирення	Обробка поверхні очищувачем або розчинником	Відсутність мастила й води
6	Приготування композиції	Дозування та перемішування компонентів	Однорідність суміші
7	Нанесення матеріалу	Нанесення композиції з невеликим надлишком	Повне заповнення дефекту
8	Формування посадки	Встановлення оправки або підшипника з розділювальним шаром	Центрування та фіксація
9	Тверднення	Витримка деталі за встановленого режиму	Час і температура тверднення
10	Механічна обробка	Доведення поверхні до потрібного розміру	Діаметр, форма, шорсткість
11	Остаточний контроль	Перевірка геометрії, стану шару та якості посадки	Допуск до складання

Наведена у табл. 3.2 технологічна карта може бути адаптована для інших деталей: кришок, фланців, гнізд, опорних поверхонь, різьбових отворів або

корпусів. При цьому змінюються окремі операції, але загальна логіка процесу залишається однаковою: дефектація, підготовка, нанесення матеріалу, тверднення, обробка і контроль якості.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розроблено технологічний процес відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами. Визначено, що найбільш доцільними об'єктами такого відновлення є корпусні деталі, посадкові місця під підшипники, кришки, фланці, опорні поверхні, різьбові отвори та локально пошкоджені ділянки, які не мають критичних руйнувань основного матеріалу.

Обґрунтовано необхідність попереднього аналізу дефектів і визначення ремонтпридатності деталей. Показано, що до відновлення допускаються лише ті деталі, які мають достатню залишкову міцність, не містять небезпечних тріщин і можуть забезпечити надійну роботу після ремонту.

Розглянуто послідовність основних технологічних операцій: очищення, дефектація, вимірювання, механічна підготовка поверхні, знежирення, активація, приготування композиційного матеріалу, нанесення, формування шару, тверднення, механічна обробка та контроль якості. Встановлено, що найбільш відповідальними етапами є підготовка поверхні, забезпечення адгезії та дотримання режимів тверднення.

Запропоновано технологічну карту відновлення посадкового місця під підшипник у корпусній деталі металополімерною композицією. Така технологія може бути використана як базова для ремонту інших подібних деталей автотракторної техніки.

У результаті встановлено, що застосування композиційних матеріалів дозволяє виконувати локальне відновлення деталей без значного теплового впливу, зменшити трудомісткість ремонту, відновити геометрію та працездатність поверхонь, а також підвищити ефективність ремонтного виробництва за умови суворого дотримання технологічних вимог.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

4.1. Критерії ефективності технології відновлення деталей

Оцінювання ефективності технології відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами необхідне для визначення доцільності її практичного застосування у ремонтному виробництві. Ефективність такої технології не може оцінюватися лише за одним показником, оскільки якість ремонту залежить від технічних, технологічних, економічних і експлуатаційних чинників.

Основними критеріями ефективності запропонованої технології є якість відновлення геометричних параметрів, міцність зчеплення композиційного шару з основою, зносостійкість відновленої поверхні, трудомісткість виконання операцій, матеріальні витрати, собівартість ремонту, очікуваний ресурс деталі після відновлення та можливість повторного ремонту.

У табл. 4.1 наведено основні критерії, за якими доцільно оцінювати ефективність технології відновлення деталей композиційними матеріалами.

Таблиця 4.1 – Критерії ефективності технології відновлення деталей композиційними матеріалами

Критерій оцінювання	Зміст критерію	Практичне значення
Геометрична точність	Відповідність розмірів, форми та шорсткості технічним вимогам	Забезпечує правильне складання та роботу вузла
Адгезійна міцність	Міцність зчеплення композиційного шару з основою	Запобігає відшаруванню матеріалу під час роботи
Зносостійкість	Здатність відновленої поверхні протидіяти зношуванню	Визначає тривалість експлуатації деталі
Технологічність	Простота, доступність і стабільність виконання операцій	Дозволяє застосовувати технологію в умовах ремонтної майстерні
Трудомісткість	Витрати робочого часу на відновлення деталі	Впливає на собівартість ремонту
Матеріальні витрати	Вартість композиційного матеріалу, допоміжних матеріалів та інструменту	Визначає економічну доцільність ремонту

Ресурс після відновлення	Очікувана тривалість роботи відновленої деталі	Характеризує експлуатаційну ефективність технології
Ремонтопридатність	Можливість повторного ремонту або додаткового відновлення	Підвищує практичну цінність технології

З наведених критеріїв видно, що запропонована технологія повинна забезпечувати не тільки відновлення розміру деталі, а й достатню надійність у подальшій експлуатації. Особливо важливими є адгезійна міцність і стабільність геометричних параметрів, оскільки саме ці показники визначають можливість використання композиційного матеріалу для посадкових, опорних і ущільнювальних поверхонь.

4.2. Оцінювання якості відновлення за геометричними параметрами

Геометрична точність є одним із головних показників якості відновлення деталей автотракторної техніки. Після ремонту деталей повинна відповідати вимогам щодо розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь і шорсткості. Особливо це важливо для посадкових поверхонь під підшипники, втулки, кільця, ущільнення та інші спряжені елементи.

Оцінювання геометричних параметрів передбачає вимірювання фактичних розмірів деталі до відновлення, після нанесення композиційного матеріалу та після остаточної механічної обробки. Основними контрольованими параметрами є діаметр, овальність, конусність, биття, площинність, співвісність і шорсткість поверхні.

Для посадкового отвору або шийки вала важливо визначити відхилення фактичного розміру від номінального. Це відхилення можна визначити за формулою:

$$\Delta D = D_{\text{ф}} - D_{\text{н}},$$

де ΔD — відхилення фактичного розміру, мм;

$D_{\text{ф}}$ — фактичний розмір після відновлення, мм;

$D_{\text{н}}$ — номінальний або заданий ремонтний розмір, мм.

Якщо значення ΔD перебуває в межах допустимого відхилення, поверхня може бути допущена до складання. Якщо відхилення перевищує допустиме

значення, необхідно виконати додаткову механічну обробку або повторне відновлення.

Овальність отвору або вала визначають як різницю між найбільшим і найменшим діаметром, виміряним в одному поперечному перерізі:

$$O = D_{max} - D_{min},$$

де O — овальність, мм;

D_{max} — найбільший виміряний діаметр, мм;

D_{min} — найменший виміряний діаметр, мм.

Конусність визначають як різницю діаметрів, виміряних у різних перерізах по довжині поверхні:

$$K = D_1 - D_2,$$

де K — конусність, мм;

D_1 і D_2 — діаметри у двох контрольних перерізах, мм.

У табл. 4.2 наведено основні геометричні параметри, які доцільно контролювати після відновлення деталей композиційними матеріалами.

Таблиця 4.2 – Контроль геометричних параметрів відновлених деталей

Вид поверхні	Контрольовані параметри	Засоби контролю
Посадковий отвір	Діаметр, овальність, конусність, шорсткість	Нутромір, мікрометр, калібр, профілометр
Шийка вала	Діаметр, биття, овальність, шорсткість	Мікрометр, індикатор годинникового типу, центри
Фланцева площа	Площинність, шорсткість, наявність раковин	Лінійка, щуп, індикатор, візуальний контроль
Різьбовий отвір	Профіль різби, щільність з'єднання	Різьбовий калібр, пробне складання
Ущільнювальна поверхня	Рівність, герметичність, відсутність подряпин	Лінійка, щуп, проба на герметичність

Якість геометричного відновлення визначає можливість подальшого складання вузла без перекосів, люфтів і порушення посадок. Тому геометричний контроль є обов'язковим етапом завершення ремонтно-відновлювального процесу.

4.3. Оцінювання міцності зчеплення композиційного шару з основою

Міцність зчеплення композиційного шару з основою є ключовим показником працездатності відновленої поверхні. Якщо адгезія недостатня, шар

може відшаруватися під час роботи, навіть якщо сам матеріал має високу міцність і зносостійкість.

Адгезійна міцність залежить від якості очищення поверхні, шорсткості, відсутності мастила та вологи, правильності приготування композиційного матеріалу, товщини шару, режиму тверднення і характеру навантаження. Найбільш відповідальною є підготовка поверхні, оскільки саме вона створює умови для механічного та фізико-хімічного зчеплення матеріалу з основою.

Для практичного оцінювання міцності зчеплення можуть застосовуватися такі методи:

- зовнішній огляд відновленого шару;
- простукування для виявлення відшарованих ділянок;
- контроль відсутності тріщин і пор;
- пробне складання спряження;
- навантажувальні випробування зразків або контрольних деталей;
- випробування на відрив або зсув у лабораторних умовах.

Розрахунково міцність зчеплення при зсуві можна оцінити за формулою:

$$\tau = \frac{F}{S},$$

де τ — напруження зсуву, МПа;

F — сила, що діє на шар, Н;

S — площа контакту композиційного шару з основою, мм².

Для посадкових поверхонь важливо, щоб композиційний шар не зміщувався під дією контактного тиску, вібрацій і мікропереміщень. Якщо шар працює у з'єднанні з підшипником або втулкою, слабе зчеплення може призвести до провертання посадки, утворення зазорів, фретинг-зношування та повторної втрати працездатності вузла.

Отже, оцінювання міцності зчеплення є необхідною умовою допуску відновленої деталі до експлуатації. Для забезпечення високої адгезії необхідно суворо дотримуватися технології очищення, механічної підготовки, знежирення, нанесення і тверднення композиційного матеріалу.

4.4. Оцінювання зносостійкості відновлених поверхонь

Зносостійкість відновленої поверхні характеризує її здатність протидіяти руйнуванню під дією тертя, абразивних частинок, контактного тиску та робочого середовища. Для деталей автотракторної техніки цей показник має важливе значення, оскільки вони часто працюють в умовах пилу, вологи, забрудненого мастила, вібрацій і змінних навантажень.

Оцінювання зносостійкості може виконуватися шляхом порівняння інтенсивності зношування відновленої поверхні з поверхнею, відновленою традиційним способом, або з новою деталлю. Основними показниками є величина лінійного зносу, втрата маси, зміна шорсткості, поява задирів, тріщин, раковин або відшарувань.

Лінійний знос можна визначити за формулою:

$$I = h_1 - h_2,$$

де I — величина лінійного зносу, мм;

h_1 — початковий розмір поверхневого шару, мм;

h_2 — розмір після певного періоду роботи або випробування, мм.

Інтенсивність зношування може бути визначена як відношення величини зносу до часу роботи:

$$i = \frac{I}{t},$$

де i — інтенсивність зношування, мм/год;

I — величина зносу, мм;

t — тривалість роботи або випробування, год.

Для композиційних матеріалів важливо враховувати не лише зносостійкість самого шару, а й характер його руйнування. Якщо матеріал поступово зношується без відшарування, це свідчить про стабільну роботу. Якщо ж спостерігається відрив шару від основи, кришення або утворення тріщин, така поверхня не може вважатися надійною.

На зносостійкість композиційного шару впливають тип матриці, вид наповнювача, твердість, адгезія, шорсткість після обробки, умови мащення та характер навантаження. Для поверхонь тертя доцільно застосовувати композиції

з антифрикційними добавками, а для поверхонь, що зазнають абразивного впливу, — матеріали з твердими мінеральними або керамічними наповнювачами.

4.5. Порівняння запропонованої технології з традиційними способами ремонту

Запропонована технологія відновлення деталей композиційними матеріалами має низку відмінностей від традиційних способів ремонту. Її головна особливість полягає у можливості локального відновлення зношених поверхонь без значного нагрівання деталі, складного обладнання та суттєвого втручання у структуру основного металу.

Традиційні методи, такі як наплавлення, зварювання, гальванічне нарощування, газотермічне напилення або встановлення ремонтних втулок, мають широке застосування і залишаються важливими для ремонтного виробництва. Однак для локальних дефектів корпусних деталей, посадкових місць, фланців і ущільнювальних поверхонь вони не завжди є найбільш раціональними.

У табл. 4.3 наведено порівняння запропонованої технології з традиційними способами ремонту.

Таблиця 4.3 – Порівняння технології відновлення композиційними матеріалами з традиційними методами ремонту

Показник	Традиційні способи ремонту	Відновлення композиційними матеріалами
Тепловий вплив на деталь	Може бути значним при зварюванні та наплавленні	Мінімальний або відсутній
Ризик деформації	Можливий для тонкостінних і корпусних деталей	Значно менший
Потреба у складному обладнанні	Часто потрібне спеціальне обладнання	Може виконуватися в умовах ремонтної майстерні
Придатність для локальних дефектів	Не завжди раціональна	Висока
Трудомісткість	Може бути значною	Зазвичай нижча для локального ремонту

Механічна обробка після ремонту	Часто обов'язкова	Потрібна залежно від типу поверхні
Екологічна складність	Висока для гальванічних і зварювальних процесів	Нижча, але потребує контролю хімічних матеріалів
Обмеження застосування	Залежать від методу	Обмеження за температурою, навантаженням і адгезією

З табл. 4.3 видно, що технологія відновлення композиційними матеріалами є особливо доцільною для локального ремонту, де потрібно відновити посадку, герметичність, форму або поверхневий шар без значного теплового впливу. Водночас вона не повинна розглядатися як повна заміна всіх традиційних методів. Для високонавантажених деталей, зубчастих передач, відповідальних елементів гальмівної або рульової системи необхідно застосовувати традиційні технології або проводити додаткове обґрунтування.

4.6. Визначення трудомісткості ремонтно-відновлювальних операцій

Трудомісткість ремонтно-відновлювальних операцій є важливим показником економічної ефективності технології. Вона характеризує витрати робочого часу на виконання всіх операцій, необхідних для відновлення деталі.

Загальну трудомісткість відновлення можна визначити за формулою:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{оч}} + T_{\text{деф}} + T_{\text{підг}} + T_{\text{нан}} + T_{\text{тв}} + T_{\text{обр}} + T_{\text{конт}}$$

де $T_{\text{заг}}$ — загальна трудомісткість відновлення, год;

$T_{\text{оч}}$ — час очищення деталі, год;

$T_{\text{деф}}$ — час дефектації, год;

$T_{\text{підг}}$ — час підготовки поверхні, год;

$T_{\text{нан}}$ — час нанесення композиційного матеріалу, год;

$T_{\text{тв}}$ — час технологічної витримки або тверднення, год;

$T_{\text{обр}}$ — час механічної обробки, год;

$T_{\text{конт}}$ — час контролю якості, год.

Необхідно враховувати, що час тверднення матеріалу не завжди повністю є активним робочим часом працівника. У цей період деталь витримується в нерухомому положенні, а працівник може виконувати інші операції. Тому при

економічному аналізі доцільно розрізняти календарну тривалість ремонту та фактичні витрати робочого часу.

У табл. 4.4 наведено орієнтовну структуру трудомісткості операцій без зазначення конкретних числових значень, оскільки вони залежать від типу деталі, характеру дефекту, обладнання та умов ремонтної майстерні.

Таблиця 4.4 – Структура трудомісткості відновлення деталі композиційним матеріалом

Операція	Характер витрат часу	Вплив на якість ремонту
Очищення деталі	Активний робочий час	Визначає якість подальшої підготовки
Дефектація	Активний робочий час	Дає змогу визначити ремонтпридатність
Механічна підготовка	Активний робочий час	Впливає на адгезію шару
Знежирення	Активний робочий час	Забезпечує чистоту поверхні
Приготування матеріалу	Активний робочий час	Визначає однорідність композиції
Нанесення матеріалу	Активний робочий час	Впливає на рівномірність і щільність шару
Тверднення	Переважно технологічна витримка	Забезпечує формування міцності
Механічна обробка	Активний робочий час	Забезпечує точність розмірів
Контроль якості	Активний робочий час	Підтверджує придатність деталі

Технологія відновлення композиційними матеріалами може зменшити трудомісткість ремонту порівняно з традиційними способами у тих випадках, коли не потрібно виконувати складне наплавлення, термічну обробку, виготовлення ремонтних втулок або тривалі гальванічні процеси.

4.7. Оцінювання матеріальних витрат на відновлення деталі

Матеріальні витрати на відновлення деталі включають вартість композиційного матеріалу, допоміжних матеріалів, очищувачів, абразивів, розчинників, розділювальних складів, витратного інструменту, електроенергії та інших ресурсів, необхідних для виконання ремонту.

Загальні матеріальні витрати можна визначити за формулою:

$$C_M = C_{KM} + C_{DM} + C_{IH} + C_{CH},$$

де C_m — загальні матеріальні витрати, грн;

C_{km} — вартість композиційного матеріалу, грн;

C_{dm} — вартість допоміжних матеріалів, грн;

C_{in} — витрати на інструмент і оснащення, грн;

C_{en} — витрати на енергію, грн.

Вартість композиційного матеріалу визначають за масою матеріалу, необхідного для відновлення дефектної ділянки:

$$C_{km} = m \cdot C_{од},$$

де m — маса використаного композиційного матеріалу, кг;

$C_{од}$ — вартість одного кілограма матеріалу, грн/кг.

Маса матеріалу залежить від об'єму дефекту, товщини шару, площі відновлення та технологічного запасу. Для точнішого розрахунку можна використовувати формулу:

$$m = V \cdot \rho,$$

де m — маса матеріалу, кг;

V — об'єм відновлюваного шару, м³;

ρ — густина композиційного матеріалу, кг/м³.

При оцінюванні матеріальних витрат важливо враховувати, що композиційний матеріал часто наноситься локально, лише на пошкоджену ділянку. Тому його витрати можуть бути меншими порівняно з витратами на виготовлення ремонтної втулки, наплавлення значного шару металу або заміну всієї деталі.

4.8. Розрахунок економічної доцільності застосування композиційних матеріалів

Економічна доцільність застосування композиційних матеріалів визначається порівнянням витрат на відновлення деталі з витратами на її заміну або ремонт традиційним способом. Якщо вартість відновлення нижча, а якість і ресурс деталі відповідають вимогам експлуатації, застосування запропонованої технології є економічно виправданим.

Загальну собівартість відновлення можна визначити за формулою:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{м}} + C_{\text{п}} + C_{\text{обл}} + C_{\text{н}},$$

де $C_{\text{в}}$ — собівартість відновлення деталі, грн;

$C_{\text{м}}$ — матеріальні витрати, грн;

$C_{\text{п}}$ — витрати на оплату праці, грн;

$C_{\text{обл}}$ — витрати, пов'язані з використанням обладнання, грн;

$C_{\text{н}}$ — накладні витрати, грн.

Витрати на оплату праці можна визначити за формулою:

$$C_{\text{п}} = T_{\text{акт}} \cdot C_{\text{год}},$$

де $T_{\text{акт}}$ — активна трудомісткість виконання операцій, год;

$C_{\text{год}}$ — вартість однієї людино-години, грн/год.

Економічний ефект від відновлення порівняно із заміною деталі можна визначити за формулою:

$$E = C_{\text{н.д.}} - C_{\text{в}},$$

де E — економічний ефект, грн;

$C_{\text{н.д.}}$ — вартість нової деталі з урахуванням доставки та встановлення, грн;

$C_{\text{в}}$ — собівартість відновлення, грн.

Коефіцієнт економічної доцільності можна визначити так:

$$K_{\text{е}} = \frac{C_{\text{в}}}{C_{\text{н.д.}}}.$$

Якщо $K_{\text{е}} < 1$, відновлення дешевше за заміну. Чим менше значення коефіцієнта, тим вигідніше застосовувати ремонт. Проте економічна доцільність повинна оцінюватися разом із технічною надійністю. Якщо відновлена деталь має низький ресурс або може спричинити аварійну відмову, економія не може бути підставою для її використання.

Таким чином, застосування композиційних матеріалів є найбільш економічно виправданим для деталей, які мають високу вартість, складну форму, локальний дефект і достатню залишкову міцність.

4.9. Вплив запропонованої технології на ресурс і ремонтпридатність деталей

Запропонована технологія відновлення композиційними матеріалами може позитивно впливати на ресурс деталей автотракторної техніки за умови правильного вибору матеріалу та дотримання технологічного процесу. Відновлення посадкових, опорних і ущільнювальних поверхонь дозволяє усунути люфти, відновити натяг, забезпечити герметичність і стабілізувати роботу вузла.

Однією з переваг композиційних матеріалів є можливість локального ремонту без значного нагрівання деталі. Це дозволяє зберегти структуру основного металу, уникнути деформацій і не погіршувати властивості базової деталі. Для корпусних деталей, кришок, фланців і посадкових отворів це є суттєвою перевагою.

Ремонтопридатність деталей також підвищується завдяки можливості повторного локального відновлення. Якщо в процесі подальшої експлуатації виникає новий дефект або зношування, деталь може бути повторно очищена, підготовлена і відновлена, якщо її основний матеріал не має критичних пошкоджень.

Водночас ресурс відновленої деталі залежить від умов експлуатації. Якщо деталь працює при надмірних температурах, значних ударних навантаженнях або в умовах інтенсивного абразивного зношування, композиційний матеріал може мати обмежену довговічність. Тому для кожного випадку необхідно оцінювати відповідність матеріалу реальним умовам роботи.

Отже, запропонована технологія може підвищити ресурс і ремонтпридатність деталей, якщо вона застосовується для правильно вибраних об'єктів ремонту: корпусних деталей, посадкових місць, ущільнювальних площин, опорних поверхонь і локальних дефектів, які не пов'язані з критичним руйнуванням основного матеріалу.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі проведено оцінювання технічної та економічної ефективності запропонованої технології відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами.

Встановлено, що ефективність технології необхідно оцінювати за комплексом критеріїв: геометричною точністю, адгезійною міцністю, зносостійкістю, технологічністю, трудомісткістю, матеріальними витратами, собівартістю ремонту, ресурсом після відновлення та ремонтпридатністю деталі.

Показано, що геометрична точність є одним із головних показників якості відновлення, оскільки від неї залежить правильність складання вузла, стабільність посадок, відсутність люфтів і рівномірність навантаження. Для контролю відновлених деталей необхідно перевіряти діаметр, овальність, конусність, биття, площинність і шорсткість поверхні.

Обґрунтовано, що міцність зчеплення композиційного шару з основою є визначальним показником працездатності відновленої поверхні. Недостатня адгезія може призвести до відшарування матеріалу, втрати геометрії та повторної відмови деталі.

Визначено, що зносостійкість композиційного шару залежить від типу матриці, виду наповнювача, якості підготовки поверхні, режиму тверднення, умов мащення та характеру навантаження. Для поверхонь тертя доцільно застосовувати антифрикційні композиції, а для абразивного середовища — матеріали з твердими наповнювачами.

Порівняння із традиційними способами ремонту показало, що технологія відновлення композиційними матеріалами є особливо ефективною для локальних дефектів, посадкових поверхонь, корпусних деталей, фланців, кришок і ущільнювальних зон. Її перевагами є мінімальний тепловий вплив, менший ризик деформації, можливість виконання ремонту в умовах майстерні та зниження трудомісткості.

Економічна доцільність запропонованої технології визначається співвідношенням собівартості відновлення і вартості нової деталі або традиційного ремонту. Найбільший економічний ефект очікується при відновленні дорогих корпусних деталей і вузлів із локальними дефектами, коли заміна всієї деталі є невиправданою.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

5.1. Загальна характеристика умов праці під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт

Відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами виконується в умовах ремонтної майстерні, сервісної дільниці або навчально-виробничої лабораторії. Такі роботи поєднують операції очищення, дефектації, механічної підготовки, знежирення, приготування композиційного матеріалу, нанесення, тверднення, механічної обробки та контролю якості.

Умови праці під час виконання цих операцій характеризуються наявністю механічних, хімічних, пилових, пожежонебезпечних і ергономічних факторів. Працівник може контактувати з металевим пилом, абразивними частинками, розчинниками, полімерними компонентами, затверджувачами, мастильними матеріалами та інструментом для механічної обробки.

Особливістю роботи з композиційними матеріалами є те, що значна частина небезпек пов'язана не з високою температурою, а з хімічними речовинами та якістю організації робочого місця. Неправильне зберігання, дозування або змішування компонентів може створити ризик подразнення шкіри, органів дихання, очей, а також пожежну небезпеку при використанні розчинників.

Тому організація робочого місця повинна забезпечувати безпечне виконання всіх операцій, ефективну вентиляцію, достатнє освітлення, наявність засобів індивідуального захисту, справність обладнання, правильне зберігання матеріалів і дотримання вимог пожежної та екологічної безпеки.

5.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі з композиційними матеріалами

Під час відновлення деталей композиційними матеріалами на працівника можуть впливати різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Їх необхідно враховувати ще на етапі організації технологічного процесу.

У табл. 5.1 наведено основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

Таблиця 5.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час відновлення деталей композиційними матеріалами

Виробничий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Металевий і абразивний пил	Шліфування, зачищення, механічна підготовка	Подразнення органів дихання та очей
Пари розчинників	Знежирення, очищення поверхонь	Подразнення, запаморочення, пожежна небезпека
Контакт із полімерними компонентами	Приготування та нанесення композиції	Подразнення шкіри, алергічні реакції
Рухомі частини інструменту	Шліфувальні машини, дрилі, верстати	Травмування рук, очей, обличчя
Шум і вібрація	Механічна обробка, ручний електроінструмент	Втома, зниження уваги, негативний вплив на здоров'я
Пожежонебезпечні речовини	Розчинники, очищувачі, деякі полімерні компоненти	Ризик займання або пожежі
Недостатня вентиляція	Робота в закритому приміщенні	Накопичення парів і пилу в повітрі
Незручна робоча поза	Робота з великогабаритними деталями	Перевтома, травмування опорно-рухового апарату

Основними заходами зниження впливу цих факторів є застосування вентиляції, використання засобів індивідуального захисту, справного інструменту, правильне зберігання хімічних речовин, дотримання технологічної дисципліни та навчання працівників безпечним методам роботи.

5.3. Вимоги безпеки під час очищення та механічної підготовки деталей

Очищення і механічна підготовка деталей є початковими етапами відновлення, але саме на цих операціях часто виникають ризики травмування та забруднення повітря робочої зони. Під час видалення іржі, старих покриттів, забруднень, залишків мастила й абразивної обробки утворюється пил, стружка та дрібні частинки металу.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність інструменту, надійність кріплення абразивних кругів, наявність захисних кожухів і справність електричних кабелів. Забороняється використовувати пошкоджені круги, несправні шліфувальні машини або інструмент із порушеною ізоляцією.

Під час механічної підготовки працівник повинен використовувати захисні окуляри або щиток, рукавиці, спецодяг і засоби захисту органів дихання. Оброблювана деталь повинна бути надійно закріплена, особливо якщо вона має значну масу або складну форму. Робота з деталлю, яка зміщується або вібрує, є небезпечною і може призвести до травмування.

Після механічної обробки необхідно видалити пил, стружку й абразивні частинки. Не допускається здування пилу без засобів захисту або в напрямку інших працівників. Робоче місце повинно регулярно очищуватися, щоб запобігти накопиченню забруднень і підвищенню пожежної небезпеки.

5.4. Вимоги безпеки під час приготування та нанесення композиційних матеріалів

Приготування композиційних матеріалів потребує точного дозування компонентів і дотримання правил безпеки. Полімерні смоли, затверджувачі, розчинники й очищувачі можуть мати подразнювальну дію, тому прямий контакт зі шкірою та очима необхідно виключити.

Компоненти композиції слід змішувати у спеціально відведеному місці з достатньою вентиляцією. Забороняється використовувати харчовий посуд або неідентифіковані ємності. Усі ємності з матеріалами повинні бути закритими, промаркованими і зберігатися відповідно до вимог безпеки.

Під час змішування необхідно використовувати рукавиці, захисні окуляри та за потреби респіратор. Не допускається вдихання парів, потрапляння матеріалу на відкриті ділянки шкіри, а також змішування компонентів у кількості, більшій за потрібну для виконання конкретної операції. Надлишковий матеріал може швидко втратити технологічну придатність і стати відходом.

Нанесення композиційного матеріалу слід виконувати чистим інструментом. Поверхня деталі повинна бути підготовленою, сухою та

знежиреною. Після завершення роботи інструмент необхідно очистити, а залишки матеріалу зібрати у спеціальну тару для подальшого поводження з відходами.

5.5. Засоби індивідуального захисту працівників

Засоби індивідуального захисту є обов'язковим елементом безпечного виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Їх вибір залежить від конкретної операції, виду матеріалів, інструменту та умов робочого місця.

У табл. 5.2 наведено рекомендовані засоби індивідуального захисту для основних операцій відновлення деталей композиційними матеріалами.

Таблиця 5.2 – Засоби індивідуального захисту під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт

Операція	Необхідні засоби індивідуального захисту
Механічне очищення та шліфування	Захисні окуляри або щиток, рукавиці, респіратор, спецодяг
Знежирення поверхні	Хімічно стійкі рукавиці, окуляри, респіратор за потреби
Приготування композиції	Рукавиці, окуляри, спецодяг, респіратор при недостатній вентиляції
Нанесення матеріалу	Рукавиці, окуляри, захисний одяг
Механічна обробка після тверднення	Окуляри, респіратор, рукавиці, спецодяг
Прибирання робочого місця	Рукавиці, респіратор за наявності пилу

Засоби індивідуального захисту повинні бути справними, чистими та відповідати характеру виконуваних робіт. Працівник не повинен виконувати операції зі шкідливими речовинами без рукавиць або захисту очей. Після завершення роботи необхідно вимити руки, очистити спецодяг і не допускати перенесення залишків полімерних матеріалів у побутові приміщення.

5.6. Вентиляція, санітарно-гігієнічні вимоги та організація робочого місця

Робоче місце для відновлення деталей композиційними матеріалами повинно бути організоване так, щоб забезпечити безпечне виконання всіх операцій. Воно має бути достатньо освітленим, провітрюваним, обладнаним

робочою поверхнею, засобами для фіксації деталей, місцем для зберігання матеріалів, контейнерами для відходів і засобами пожежогасіння.

Особливу увагу необхідно приділяти вентиляції. Під час знежирення, використання розчинників, приготування композицій і очищення інструменту в повітря можуть потрапляти пари хімічних речовин. За недостатньої вентиляції вони накопичуються у робочій зоні та створюють небезпеку для здоров'я працівників.

Санітарно-гігієнічні вимоги передбачають підтримання чистоти робочого місця, своєчасне видалення пилу, стружки, залишків матеріалів і забруднених серветок. Забороняється приймати їжу, пити або зберігати особисті речі у зоні роботи з полімерними матеріалами та розчинниками.

Організація робочого місця повинна забезпечувати зручне розташування інструменту й матеріалів. Деталі великої маси слід переміщувати із застосуванням відповідних пристроїв або за участю кількох працівників. Неправильне підіймання важких деталей може призвести до травмування.

5.7. Пожежна безпека під час використання полімерних матеріалів і розчинників

Пожежна безпека є важливою складовою виконання робіт із композиційними матеріалами, оскільки під час очищення та знежирення можуть використовуватися легкозаймисті розчинники. Крім того, деякі полімерні компоненти та допоміжні матеріали можуть підтримувати горіння або виділяти небезпечні продукти при нагріванні.

На робочому місці не повинно бути відкритого вогню, іскор, нагрівальних приладів без захисту або несправного електрообладнання. Забороняється палити в зоні роботи з розчинниками, зберігати легкозаймисті матеріали біля джерел тепла та залишати відкритими ємності з хімічними речовинами.

Легкозаймисті матеріали необхідно зберігати у щільно закритій тарі в спеціально відведених місцях. Кількість таких матеріалів на робочому місці повинна бути мінімально необхідною для виконання поточної операції.

Робоча зона повинна бути забезпечена засобами пожежогасіння. Працівники повинні знати місце розташування вогнегасників, порядок їх використання та дії у разі виникнення пожежі. Забруднені розчинниками серветки, ганчір'я та інші матеріали необхідно збирати у спеціальну тару і своєчасно видаляти з робочого місця.

5.8. Екологічні аспекти застосування композиційних матеріалів

Застосування композиційних матеріалів у ремонтному виробництві має як позитивні, так і потенційно негативні екологічні аспекти. До позитивних належить можливість продовження строку служби деталей, зменшення потреби у виготовленні нових запасних частин, скорочення кількості металовідходів і раціональніше використання матеріальних ресурсів.

Водночас під час роботи з композиційними матеріалами утворюються відходи полімерних компонентів, забруднені серветки, залишки розчинників, абразивний пил, стружка, тара від хімічних матеріалів і залишки затверділих композицій. Такі відходи не можна безконтрольно викидати або зливати у каналізацію.

Екологічна безпека забезпечується правильним зберіганням матеріалів, мінімізацією надлишкового приготування композиції, збором відходів у спеціальну тару, недопущенням потрапляння розчинників у ґрунт або воду, а також організацією передачі небезпечних відходів на утилізацію відповідно до встановлених вимог.

Важливою перевагою запропонованої технології є те, що вона не потребує гальванічних ванн, електролітів, значних обсягів промивних вод або високотемпературних процесів. Це може зменшувати екологічне навантаження порівняно з деякими традиційними методами ремонту.

5.9. Поводження з відходами ремонтного виробництва

Поводження з відходами ремонтного виробництва повинно бути організоване так, щоб запобігти забрудненню робочої зони, ґрунту, води та

повітря. Відходи, які утворюються під час відновлення деталей композиційними матеріалами, необхідно сортувати за видами та рівнем небезпеки.

У табл. 5.3 наведено основні види відходів, які можуть утворюватися під час виконання робіт, та рекомендовані способи поводження з ними.

Таблиця 5.3 – Види відходів під час відновлення деталей композиційними матеріалами та поводження з ними

Вид відходів	Джерело утворення	Рекомендоване поводження
Металева стружка та пил	Механічна обробка, шліфування	Збір у металеву тару, передача на переробку
Абразивний пил	Зачищення та шліфування	Збір пиломасою або в спеціальні контейнери
Залишки композиційного матеріалу	Приготування та нанесення	Затвердити залишки та передати як виробничі відходи
Забруднені серветки та ганчір'я	Знежирення, очищення інструменту	Зберігати у закритій тарі, передати на утилізацію
Тара від матеріалів	Використання смол, затверджувачів, розчинників	Зберігати окремо, не використовувати повторно для побутових потреб
Залишки розчинників	Знежирення, очищення	Не зливати у каналізацію, збирати у спеціальні ємності

Особливу увагу слід приділяти залишкам розчинників і забрудненим матеріалам, оскільки вони можуть бути пожежонебезпечними та шкідливими для довкілля. Їх необхідно зберігати у закритій тарі, окремо від джерел вогню та тепла.

Рациональне поводження з відходами дозволяє знизити екологічний вплив ремонтної ділянки, підвищити культуру виробництва та забезпечити безпечні умови праці.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки під час відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами.

Встановлено, що основними небезпечними та шкідливими факторами під час виконання таких робіт є металевий і абразивний пил, пари розчинників,

контакт із полімерними компонентами, рухомі частини інструменту, шум, вібрація, пожежонебезпечні речовини та недостатня вентиляція робочої зони.

Обґрунтовано необхідність застосування засобів індивідуального захисту: захисних окулярів, рукавиць, спецодягу, респіраторів і захисних щитків. Особливу увагу необхідно приділяти захисту очей, органів дихання та шкіри під час механічної підготовки, знежирення, приготування і нанесення композиційних матеріалів.

Визначено, що безпечне виконання робіт можливе лише за умови правильної організації робочого місця, достатньої вентиляції, справності інструменту, правильного зберігання хімічних матеріалів, дотримання пожежної безпеки та своєчасного видалення відходів.

Розглянуто екологічні аспекти застосування композиційних матеріалів. Показано, що така технологія може зменшити кількість списаних деталей і металовідходів, але потребує відповідального поводження із залишками полімерних матеріалів, розчинниками, забрудненими серветками, тарою та абразивним пилом.

Отже, технологія відновлення деталей композиційними матеріалами є безпечною та екологічно прийнятною за умови дотримання вимог охорони праці, пожежної безпеки, вентиляції, індивідуального захисту та організованого поводження з відходами ремонтного виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання розроблення технології відновлення деталей автотракторної техніки композиційними матеріалами. Тема роботи є актуальною, оскільки в процесі експлуатації значна кількість деталей машин втрачає працездатність не через повне руйнування, а внаслідок локального зношування, порушення посадок, появи раковин, подряпин, корозійних пошкоджень, втрати герметичності або зміни геометричних параметрів.

У першому розділі проаналізовано стан питання відновлення деталей автотракторної техніки. Встановлено, що ремонтне виробництво відіграє важливу роль у забезпеченні технічної готовності машин, зниженні витрат на експлуатацію, скороченні простоїв і раціональному використанні матеріальних ресурсів. Розглянуто основні умови роботи деталей автотракторної техніки, види зношування, характерні дефекти та традиційні способи відновлення.

Визначено, що традиційні методи ремонту, зокрема зварювання, наплавлення, механічна обробка під ремонтний розмір, встановлення ремонтних втулок, гальванічне нарощування та газотермічне напилення, мають важливе практичне значення, однак не завжди є оптимальними для локального ремонту корпусних деталей, посадкових поверхонь, фланців, кришок і ущільнювальних зон. Їх недоліками можуть бути значний тепловий вплив, деформації, висока трудомісткість, потреба у спеціальному обладнанні та складність відновлення локальних дефектів.

У другому розділі обґрунтовано вибір композиційних матеріалів для відновлення деталей автотракторної техніки. Показано, що композиційні матеріали ремонтного призначення дають змогу формувати відновлювальний шар із необхідними властивостями: адгезійною міцністю, зносостійкістю, герметичністю, стабільністю розмірів і технологічністю. Найбільш доцільним для відновлення посадкових, корпусних і опорних поверхонь визначено використання металополімерних композицій на епоксидній основі з металевим наповнювачем.

У третьому розділі розроблено технологічний процес відновлення деталей композиційними матеріалами. Запропонована послідовність включає очищення деталі, дефектацію, визначення ремонтпридатності, механічну підготовку поверхні, знежирення, приготування композиційного матеріалу, нанесення, формування шару, тверднення, механічну обробку та контроль якості. Встановлено, що найбільш відповідальними етапами є підготовка поверхні, забезпечення адгезії та дотримання режимів тверднення.

Визначено, що найбільш придатними для відновлення композиційними матеріалами є корпусні деталі, гнізда під підшипники, посадкові поверхні, кришки, фланці, ущільнювальні площини, опорні поверхні та локально пошкоджені ділянки, які не мають критичних тріщин або руйнувань основного матеріалу. Для відповідальних деталей, що працюють під високими ударними, температурними або силовими навантаженнями, застосування композиційних матеріалів потребує додаткового обґрунтування.

У четвертому розділі проведено оцінювання технічної та економічної ефективності запропонованої технології. Встановлено, що її ефективність визначається геометричною точністю відновлення, міцністю зчеплення композиційного шару з основою, зносостійкістю, трудомісткістю, матеріальними витратами, собівартістю ремонту, ресурсом і ремонтпридатністю деталі. Запропонована технологія є найбільш економічно доцільною для деталей із локальними дефектами, коли заміна всієї деталі є невиправданою.

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки. Встановлено, що під час роботи з композиційними матеріалами необхідно враховувати дію хімічних речовин, парів розчинників, пилу, абразивних частинок, шуму, вібрації та пожежонебезпечних матеріалів. Безпечне виконання робіт забезпечується застосуванням засобів індивідуального захисту, вентиляцією, правильною організацією робочого місця, справним інструментом і відповідальним поведінням із відходами.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована технологія може бути використана в ремонтних майстернях, сервісних центрах, аграрних підприємствах і навчально-виробничих лабораторіях для відновлення деталей

автотракторної техніки з локальними дефектами. Її застосування дозволяє зменшити витрати на ремонт, скоротити простої техніки, продовжити строк служби деталей і підвищити ефективність ремонтного виробництва.

Загалом встановлено, що використання композиційних матеріалів є перспективним напрямом відновлення деталей автотракторної техніки. Найбільший ефект досягається за умови правильного вибору матеріалу, якісної підготовки поверхні, дотримання технологічних режимів і обов'язкового контролю якості відновленої деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-07-01. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.
2. Черновол М. І., Шепеленко І. В., Василенко І. Ф., Красота М. В., Тіхонов О. В., Науменко О. А., Рибалко І. М. Теоретичні основи та технологічні процеси відновлення деталей машин : навчальний посібник. Харків : Діса плюс, 2025. 347 с.
3. Лузан С. О. Технології зміцнення та відновлення деталей машин : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХП», 2025. 306 с.
4. Черновол М. І., Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Шепеленко І. В., Науменко О. А., Мартиненко О. Д. Введення в технічний сервіс машин: методи усунення несправностей машин та обладнання : навчальний посібник. Харків : Діса плюс, 2024. 159 с.
5. Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Лузан С. О. та ін. Технологія ремонту машин та обладнання : курс лекцій : навчальний посібник. Харків : ПромАрт, 2017. 361 с.
6. Ремонт машин та обладнання : підручник / за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. Київ : Агроосвіта, 2014. 665 с.
7. Марченко Д. Д. Ремонт машин та обладнання : курс лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр». Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2016. 119 с.
8. Марченко Д. Д. Технологія ремонту машин : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія». Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2018.
9. Марченко Д. Д. Технологія технічного обслуговування машин : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія». Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2019.

10. Зубехіна-Хайят О. В. Технологія технічного обслуговування машин : методичні рекомендації до вивчення курсу лекцій. Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2016.

11. Технічне обслуговування та діагностика машино-тракторного парку : методичні рекомендації до виконання практичних робіт / уклад. Д. Д. Марченко. Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2021.

12. Хітров І. О., Гавриш В. С. Ремонт машин і обладнання : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2012. 184 с.

13. Гасило Ю. А. Основи технології відновлення деталей : конспект лекцій. Кам'янське : Дніпровський державний технічний університет, 2017. 147 с.

14. Чабанний В. Я. Ремонт автомобілів : навчальний посібник. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.

15. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник / М. І. Черновол, В. Ю. Черкун, В. В. Аулін та ін. ; за заг. ред. М. І. Черновола. Кіровоград : КОД, 2010. 320 с.

16. Новицький А. В., Карабиньш С. С., Ружи́ло З. В. Організація сервісного виробництва : навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2017. 221 с.

17. Сорвані́ді Ю. Г. Технічний сервіс в АПК : конспект лекцій. Мелітополь : ТДАТУ, 2021.

18. Іванкова О. В., Гаращук О. В., Куценко В. І., Щербина В. В. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2020. № 4. DOI: 10.31210/visnyk2020.04.36.

19. Saichuk O., Potoskaev O. Features of the use of polymer composite materials in the restoration of bearing seats of housing parts. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2024. Vol. 144, № 1. P. 190–195. DOI: 10.32782/1995-0519.2024.1.25.

20. Saichuk O., Potoskaev O. Effectiveness of nanocomposite polymer materials in restoration of mounting sites of hull parts. Transactions of Kremenchuk

Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2025. DOI: 10.32782/1995-0519.2025.4.45.

21. Сайчук О. В., Потоскаєв О. М. Відновлення посадкових місць корпусних деталей полімерними композиційними матеріалами. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2025. Вип. 214. DOI: 10.18664/1994-7852.214.2025.351813.

22. Trofimenko Y. V., Zubkova E. V., Yakovlev A. V. Restoration of Machinery by Means of Nonwoven Polymer Composites. *Polymers*. 2022. Vol. 14. Article 5274.

23. Трикоз Л. В. та ін. Розробка полімерних наповнених композицій для ремонту штучних споруд. *Bulletin of Transport and Transport Infrastructure*. 2025.

24. Andrieiev O., et al. Repair method of aircraft components made of polymer composite materials with operational damage. *Aerospace Technic and Technology*. 2022. № 1. DOI: 10.32620/aktt.2022.1.05.

25. ASM Handbook. Vol. 18 : Friction, Lubrication, and Wear Technology / ed. by P. J. Blau. Materials Park : ASM International, 2017.

26. SKF. Bearing Damage and Failure Analysis. Göteborg : SKF Group, 2017.

27. SKF. Bearing Remanufacturing. Göteborg : SKF Group, 2020.

28. NSK. New Bearing Doctor : Diagnosis of Bearing Damage. Tokyo : NSK Ltd., 2018.

29. Henkel. LOCTITE Retaining Compounds : European Product Catalogue. Düsseldorf : Henkel AG & Co. KGaA, 2022.

30. Belzona. A Guide to ISO and SSPC/NACE Surface Preparation Standards. Harrogate : Belzona Polymerics Ltd., 2025.

31. ISO 281:2007. Rolling bearings — Dynamic load ratings and rating life. Geneva : International Organization for Standardization, 2007.

32. ISO 15243:2017. Rolling bearings — Damage and failures — Terms, characteristics and causes. Geneva : International Organization for Standardization, 2017.

33. ISO 4624:2023. Paints and varnishes — Pull-off test for adhesion. Geneva : International Organization for Standardization, 2023.

34. ASTM D4541-22. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. West Conshohocken : ASTM International, 2022.
35. ASTM G99-17. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. West Conshohocken : ASTM International, 2017.
36. ASTM D4060-19. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser. West Conshohocken : ASTM International, 2019.
37. ISO 8501-1:2007. Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades. Geneva : International Organization for Standardization, 2007.
38. ISO 8503-1:2012. Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates — Part 1. Geneva : International Organization for Standardization, 2012.
39. ISO 21920-2:2021. Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters. Geneva : International Organization for Standardization, 2021.
40. ДСТУ EN ISO 1302:2018. Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію. Чинний від 2019-01-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
41. ISO 12944-5:2018. Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 5: Protective paint systems. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.
42. ISO 7784-2:2023. Paints and varnishes — Determination of resistance to abrasion — Part 2: Method with abrasive rubber wheels and rotating test specimen. Geneva : International Organization for Standardization, 2023.
43. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. Верховна Рада України.
44. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX. Верховна Рада України.

45. Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.11.2018 № 1804. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 27.12.2018 за № 1494/32946.