

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

УДК 631.32.147

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету
конструювання та дизайну
_____ Іван РОГОВСЬКИЙ

“ ___ ” _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
надійності техніки

_____ Андрій НОВИЦЬКИЙ

“ ___ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**Дослідження технічного стану та
вдосконалення ТП відновлення колінчастих
валів в умовах спеціалізованого ремонтного
підприємства**

Спеціальність: 133 галузеве машинобудування
Магістерська програма: машини та обладнання сільсько-
господарського виробництва
Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

Андрій НОВИЦЬКИЙ

Керівник магістерської роботи

к.т.н., доц.

Зіновій РУЖИЛО

Виконав:

Роман РОМАНЕНКО

Київ-2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

к.т.н., доц. _____ Новицький А.В.

“ ____ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Романенко Роману Володимировичу

Спеціальність:	133 галузеве машинобудування
Магістерська програма:	машини та обладнання сільсько- господарського виробництва
Орієнтація освітньої програми:	освітньо-професійна

1. Тема роботи: “Дослідження технічного стану та вдосконалення ТП відновлення колінчастих валів в умовах спеціалізованого ремонтного підприємства”, керівник роботи к.т.н, доц. Ружи́ло З.В.,

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” грудня 2024 року № 2268 «с».

2. Строк подання студентом роботи – 1.12.2025 р.

3. Вихідні матеріали до виконання роботи:

Технологічний процес відновлення колінчастих валів.

Завдання на проектування.

Результати науково-дослідних робіт по вивченню зносів колінчастих валів за літературними джерелами.

4. Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Вихідні дані до роботи:

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. КОНСТРУКТОРСЬКО - ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ (в т.ч. функціональне призначення, конструкція, технологія виготовлення та ремонту пошкоджених деталей).
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ВАЛІВ (в т.ч. обґрунтування граничних та припустимих зносів, визначення ресурсу, дослідження ремфонду колінвалів, що надходять у ремонт).
3. КОНСТРУКТОРСЬКА, ТЕХНОЛОГІЧНА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНА ПІДГОТОВКА РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНВАВ.
4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ДІЛЬНИЦІ ВІДНОВЛЕННЯ.
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНВАЛІВ ЯМЗ.

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

Перелік графічного матеріалу

Презентаційний матеріал

Дата видачі завдання “ 22 ” жовтня 2024 р.

Керівник роботи

_____ **Зіновій РУЖИЛО**

Завдання прийняв до виконання

_____ **Роман РОМАНЕНКО**

РЕФЕРАТ

Романенко Роман Володимирович

" Вивчення сучасного стану та вдосконалення технічного процесу капітального ремонту колінчастого вала у спеціалізованому ремонтному підприємстві"

Ступінь магістракваліфікованийРобота включає:

Я планую 92 сторінки, пояснювальні примітки та ілюстративний розділ у формі презентації. Розрахунок та пояснення складаються з 6 розділів, 13 рисунків, 6 таблиць, 25 використаних літературних джерел та 4 додатків.

Під час роботи машин компоненти (з'єднання та деталі) піддаються впливу руйнівних явищ та деструктивних процесів, що призводять до погіршення їх функціональних властивостей та зміни технічного стану. До найважливіших руйнівних процесів належать тертя та знос компонентів, пластична деформація, втома та корозія. У реальних умовах експлуатації ці види зносу, як і інші, часто відбуваються одночасно. Руйнівні процеси, що діють на деталь, змінюють її розміри, форму та фізико-механічні властивості, спричиняючи тим самим різні дефекти, що призводять до несправностей у вузлах, агрегатах та машинах.

Після ознайомлення з технічною літературою з ремонту компонентів ми дійшли висновку, щоСеред існуючих методів нанесення шару матеріалу на відновлені вироби дугова металізація наразі є одним із найперспективніших; її застосування є предметом цієї роботи.

ДВИГУН, КОЛІНЧАТИЙ ВАЛ, КРІПЛЕННЯ, ПРОЦЕДУРИ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ, РЕМОНТ, ТЕХНІЧНІ ПРОЦЕДУРИ, ГАЗОТЕРМІЧНІ ПРОЦЕДУРИ, ЕЛЕКТРОДУГОВА МЕТАЛІЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Аналіз причин дефектів компонентів, класифікація видів зносу та нанесення компенсаційного шару	9
1.1 Основні причини дефектів компонентів машин	9
1.2 Класифікація та опис найважливіших видів зносу з'єднувальної деталі	11
1.3. Аналіз методів відновлення зношеного поверхневого шару шляхом нанесення шару матеріалу	22
1.3.1 Зварювання під флюсом	23
1.3.2 Автоматичне зварювання в захисній газовій атмосфері	25
1.3.3 Електроконтактне зварювання	26
1.3.4 Плазмове осадження та розпилення	27
1.3.5 Екранування феромагнітними порошками в магнітному полі	27
1.3.6 Лазерне зварювання	28
1.3.7 Металізація сопла	29
1.3.8 Полум'яний розпилювач	30
1.3.9 Електролітичні відкладення	31
2. Дослідження існуючих технологій капітального ремонту колінчастих валів автоматичних тракторів	32
2.1 Основні дефекти бракованих деталей	33
2.2 Виберіть відповідний метод миття та очищення компонентів.	34
2.3 Опис процесу відновлення	36
3. Застосування електрометалізаційного методу газотерапії для ремонту з'єднувальної пластини колінчастого вала двигуна ЯМЗ-240	44
3.1 Електролітична обробка як метод ремонту колінчастих валів	44
3.2 Сучасні проблеми, пов'язані з проекцією дуги	46

3.3 Дослідження процесу дугового горіння в потоці продуктів згоряння горючих газів з повітрям	47
3.4 Результати дослідження	53
4. ЕКОЛОГІЧНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ	55
4.1 Екологічна компетентність та її завдання	55
4.2 Екологічна експертиза щодо забруднення повітря, спричиненого забруднювачами	57
4.3 Захист та ефективне використання водних ресурсів	62
4.4 Ключові заходи щодо захисту довкілля	63
5 ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я ТА ГІГІЄНА ПРАЦІ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЙНИХ РОБІТ	65
5.1 Структурно-функціональний аналіз технологічних процесів	65
5.3 Основні правові вимоги до охорони праці під час ремонту компонентів автотранспортних засобів та заходи щодо запобігання нещасним випадкам	67
5.4 Вогнезахист	70
5.5 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення	70
6. Техніко-економічні зміни у прийнятих рішеннях	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
БІБЛІОГРАФІЯ	77
ДОДАТКОВІ УМОВИ ТА ПОЛОЖЕННЯ	80

ВСТУП

Одна з найбільших проблем бездоганної роботи сучасної сільськогосподарської техніки полягає у зносі машин та механізмів. Підвищення надійності та довговічності обладнання є головним пріоритетом і вимагає комплексного підходу.

Тертя та знос компонентів суттєво визначають надійність та термін служби машин. Знос погіршує герметизацію компонентів і призводить до відносної втрати точності їхнього положення та руху. Можуть виникати блокування, удари та вібрації, що спричиняють несправності. Тертя призводить до втрат енергії, перегріву механізмів, зменшення сил передачі та збільшення витрати палива та інших матеріалів. Тертя та знос взаємозалежні: знос спричинений тертям, а знос поверхонь робочих компонентів призводить до змін тертя.

Для усунення наслідків зносу проводяться регулярні генеральні ремонти, під час яких зношені деталі та вузли замінюються або капітально ремонтуються.

Найважливішими завданнями ремонту та технічного обслуговування є підтримка експлуатаційної готовності, продовження терміну служби машин і систем, а також забезпечення їх високої надійності та оптимального використання. Для досягнення цієї мети планується покращити якість ремонту шляхом розробки сучасних методів та впровадження оптимальних технологічних процесів посилення та ремонту компонентів. Термін служби відремонтованих компонентів, як правило, значно подовжується завдяки використанню ефективних ремонтних процедур та покращенню властивостей зміцнених поверхонь.

Сучасні технології армування пропонують різні методи покращення структури та властивостей поверхневого шару компонентів, кожен з яких має свої оптимальні області застосування, переваги та недоліки.

1. Аналіз причин дефектів компонентів, класифікація видів зносу та методи нанесення компенсаційного шару.

1.1 Основні причини дефектів компонентів машин

Під час проектування та виготовлення машини визначаються конкретні показники, що забезпечують її належну роботу. Це означає, що її функціональні та якісні властивості визначаються та оцінюються на основі відповідних параметрів. Під час експлуатації елементи машини (з'єднання та вузли) піддаються небажаним явищам та процесам, які призводять до погіршення їх функціональних властивостей та зміни їх технічного стану. Технічний стан машини відповідає її здатності (або неможливості) виконувати задані функції та оцінюється шляхом порівняння фактичних значень параметрів зі значеннями, зазначеними в технічній документації. Руйнівні процеси, що діють на компонент, змінюють його розмір, форму та фізико-механічні властивості, що призводить до різних дефектів та спричиняє вихід з ладу компонента, вузла та машини.

Поломки машин і механізмів виникають під час експлуатації з трьох основних причин: втома матеріалу, пошкодження від корозії та знос поверхонь тертя компонентів.

Втомне руйнування характерне для компонентів, що піддаються високим знакозмінним навантаженням. У сталевих компонентах воно характеризується, зокрема, відсутністю значної залишкової деформації та утворенням на поверхні зламу двох зон: гладкої зони поширення тріщини та шорсткої зони зламу зі слідами крихкого кристалічного руйнування.

Сьогодні оператори машин мають у своєму розпорядженні широкий спектр експериментальних методів визначення навантажень. Завдяки цим методам та глибокому розумінню фізичних і механічних властивостей матеріалів можна забезпечити достатню міцність деталей машин і високий рівень захисту від

поломок за нормальних умов експлуатації. Отже, найчастішою причиною відмов у машинах і механізмах є не поломки, а знос робочих поверхонь їхніх деталей і корпусів.

Деструктивні процеси, що діють на компонент, змінюють його розміри, форму, фізико-механічні властивості та призводять до різних дефектів і несправностей компонентів, вузлів та машин (рис. 1.1) [1].

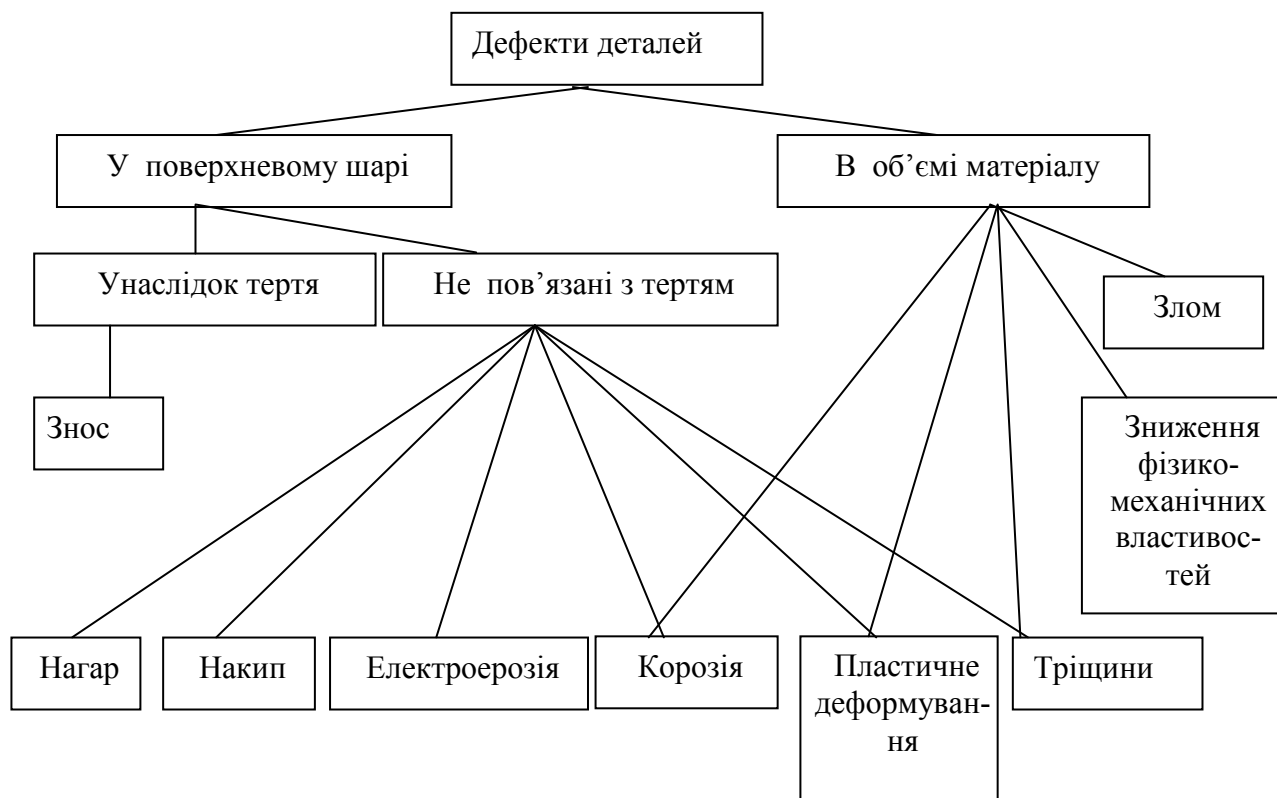


Рис. 1.1. Класифікація відмов компонентів машин

Згідно з даними [1,2], від 80 до 90% рухомих деталей машин виходять з ладу через знос. Це знижує ефективність, точність, економічність, надійність та термін служби машин. Значна частина (приблизно 30%) світових енергетичних ресурсів споживається на тертя в різних формах.

Отже, підвищення зносостійкості та надійності вузлів тертя, а також якості деталей, що контактують під час експлуатації, безпосередньо впливає на термін служби машин до капітального ремонту. Це зменшує металоємність та кількість робітників, задіяних у ремонті, економить енергію та матеріали,

підвищує продуктивність праці, забезпечує дотримання екологічних норм та техніки безпеки.

Широкий спектр досліджень у галузях фізики, хімії, механіки та трибології охоплено роботами відомих вітчизняних та зарубіжних вчених: Н.Є. Жуковського, Е.А. Корольова, П.А. Ребіндера, Б.В. Дерягіна, М.М. Хрущова, І.В. Крагельського, А.С. Ахматової, Б.І. Костецького, А.В. Чичинадзе, Ф. Боудена, Д. Тайбора, С. Баходура, К. Гольберга та ін.

Під час тертя в поверхневих контактних шарах компонентів відбуваються складні процеси. Академік П.А. Ребіндер розробив основні принципи теорії зовнішнього тертя та втомного зношування, згідно з якими ці процеси є складними фізико-хімічно-механічними процесами. Вони визначаються такими послідовними та взаємозалежними фазами процесу тертя, а саме [3]:

За словами І. В. Крагельського:

- Взаємодія поверхонь тіла з впливами навколишнього середовища;
- Зміни властивостей поверхневих шарів після взаємодії з урахуванням впливу навколишнього середовища;
- Руйнування поверхонь, створених двома попередніми кроками;

За словами А. В. Чичинадзе:

- Властивості матеріалів, моменти тертя та навколишнє середовище;
- Мікро- та макрогеометрія контактних елементів та коефіцієнт взаємного перекриття;
- Режими тертя як функція навантаження, швидкості ковзання, початкової та поточної температур маси та поверхні, а також градієнта температури вздовж координати як функції часу.

Фахівці з фундаментальних наук (фізики, хіміки, механіки, математики, матеріалознавці, науковці, інженери та техніки) обговорюють проблему продовження терміну служби машин та досліджують природу та механізм зношування.

1.2 Класифікація та опис найважливіших видів зносу з'єднувальної деталі

Класифікацію видів зносу розробили такі відомі вчені, як М. К. Хрущов, А. К. Зайцева, Б. І. Костецький, Н. Л. Голего, В. І. Крагельський та інші. Їхні класифікації узагальнено в стандартах. На рис. 1.2 показано класифікацію видів зносу, запропоновану в стандарті ГОСТ 27674-88.

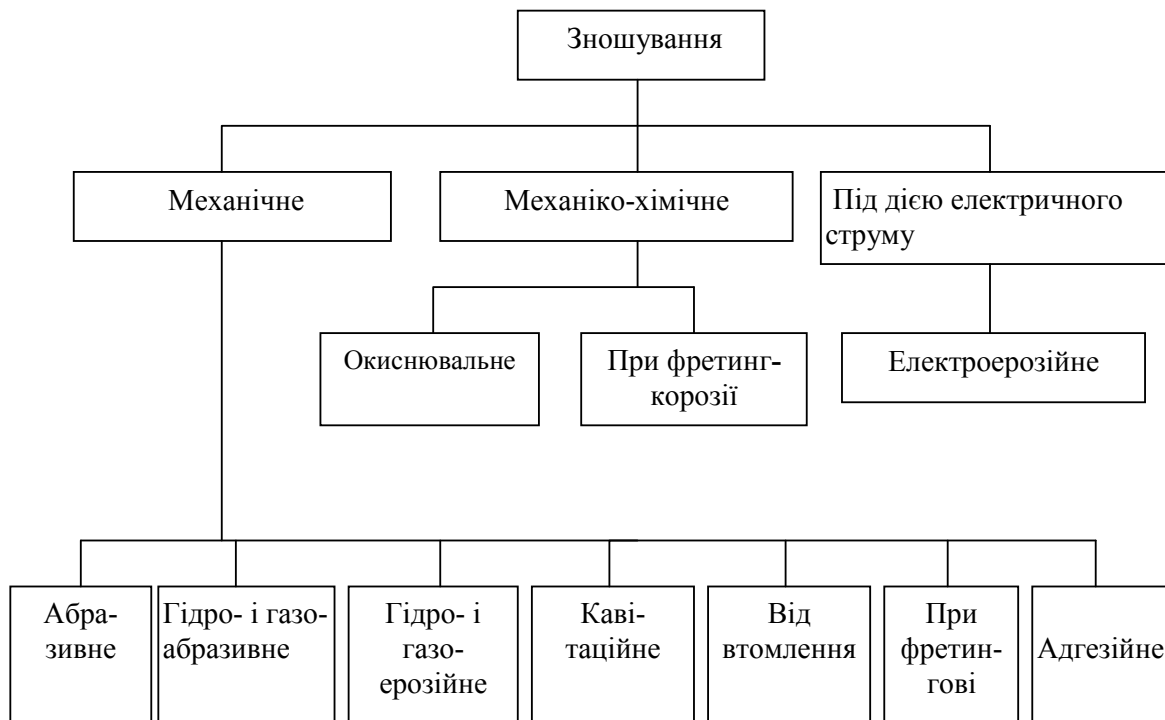


Рис. 1.2. Класифікація типів зносу

Найбільш типові види зношування, яким піддаються компоненти машин, описані нижче [1-5].

Абразивний знос. З усіх типів зносу приблизно від 80 до 90% є абразивними. Це відбувається, коли компоненти труться об тверді речовини або частинки. Поверхня тертя руйнується під дією абразивних частинок, які деформують металеві мікроструктури поверхневих шарів і виділяють стружку під час тертя. Форма та властивості абразивної та металевої поверхонь впливають на абразивне зношування.

Абразиви. Мінерал визначається як природний або штучний мінерал, зерна якого достатньо тверді для різання (скоблення). Він складається з таких частин:

- тверді частинки, що контактують з поверхнею компонента тангенціально або під малим кутом падіння (наприклад, м'які фрикційні матеріали, що труться об сторонні тверді частинки);
- Відшаровані частинки, що контактують з поверхнею компонента (наприклад, абразивні частинки, присутні в ґрунті під час роботи ґрунтообробної техніки);
- вільні частинки в просторі між з'єднаними частинами;
- Вільні абразивні частинки транспортуються потоком рідини або газу.

У всіх типах абразивного зношування загальним механізмом є проникнення абразивного тіла в метал і його переміщення по поверхні під час тертя, що призводить до пластичної деформації металу, відшаровування мікрочастинок або відшаровування.

Сліди (канавки, вм'ятини, подряпини) залишаються на зношеній поверхні внаслідок мікротріщин, сколів та пластичної деформації. Стирання викликається твердими частинками, що знаходяться у зваженому стані в потоці рідини, газу або повітря, які стикаються з твердим тілом. Тертя та удар у точці контакту спричиняють ударне стирання, гідроабразію, ударну втому та термічне руйнування.

Важливо зазначити, що мікрообробка не є основним процесом зношування поверхні і не пов'язана з ним безпосередньо. В іншому випадку інтенсивність зношування була б надмірно високою. Частота потрапляння абразивних частинок низька, а їхнім основним ефектом є шліфування та бічне зміщення матеріалу.

За кордоном розрізняють такі види абразивного зношування: зношування внаслідок високих напружень (шліфування); зношування внаслідок низьких напружень (скребання, ерозія); та зношування канавок, яке зазвичай пов'язане з ударами.

Абразивне зношування під високими напруженнями виникає, коли абразивні частинки проникають між відносно рухомими твердими металевими

поверхнями, наприклад, між поверхнями з'єднаних деталей, що піддаються тертю, і потрапляють у пил.

Абразивне зношування відбувається під низьким навантаженням через тверді, гострі частинки. Швидкість, з якою рухаються ці частинки, визначає навантаження, спричинене їхнім контактом з металом. Цей тип абразивного зношування також відомий як корозія.

Третій тип абразивного зношування, який є найсерйознішим, спричинений комбінованим впливом високих напружень та ударних навантажень.

Абразивні частинки можуть потрапляти в робочі зони та на поверхні тертя машин через повітря, мастила та інші засоби.

Повітряні фільтри машин затримують лише грубі частинки пилу; дрібніші частинки проникають всередину та викликають стирання на стінках циліндрів, шийках та інших поверхнях тертя. Знос деталей машин у багато разів більший у забрудненому повітрі, ніж у чистому. Коли абразивні частинки стикаються з підшипником з м'яким шаром фрикції, вони вбудовуються (дряпаються) та прискорюють знос вала. Здатність матеріалу підшипника взаємодіяти з мастильними матеріалами, забрудненими абразивними частинками, є вирішальною властивістю. При відносно товстому шарі металу підшипника (від 1,0 до 1,5 мм) вплив абразивних частинок на підшипник не викликає суттєвих відхилень від нормальної роботи (рис. 1.5). Однак слід зазначити, що термін служби зменшується зі збільшенням товщини шару металу підшипника.

Заміна твердіших, довговічніших матеріалів для підшипників, таких як бронза або срібло, на метал з низьким коефіцієнтом тертя не завжди дає хороші результати. У маслянистому та абразивному середовищі ці матеріали працюють гірше, ніж метал з низьким коефіцієнтом тертя.

Більшість компонентів машин піддаються абразивному зношуванню різними способами, залежно від того, чи транспортуються абразивні частинки потоком рідини чи газу, і чи зношування відбувається на твердих чи сипких абразивах. До цих компонентів належать лопатки газових турбін, робочі колеса

насосів, компресори, системи відведення димових газів, кільця валів та захисні кожухи ротора, торцеві ущільнення тощо.

Зносостійкість у напрямку стирання залежить від міцності зв'язків між атомами кристалічної решітки зношеного матеріалу.

Для твердих абразивів встановив зв'язок між об'ємним зносом V , навантаженням P , початковою твердістю зношеної поверхні H , тертям S та розміром абразивного зерна, а також:

$$V = C \frac{PSa}{H}, \quad (1.1)$$

де C – коефіцієнт пропорційності, який залежить від абразивних властивостей поверхні тертя, умов випробування та методу підготовки зразка.

У [5] було виявлено, що для технічно чистих кольорових металів та сталей у відпаленому стані існує пряма кореляція між відносною зносостійкістю ε та числом твердості H , яке було визначено методом індентування алмазною пірамідою:

$$\varepsilon = b \cdot H \quad (1.2)$$

Для сталі, що піддається термічній обробці, застосовується таке співвідношення:

$$\Sigma = \Sigma_0 + \beta \varepsilon (H + H_0), \quad (1.3)$$

де ε_0 – відносна зносостійкість цієї сталі у відпаленому стані; H_0 – твердість цієї сталі у відпаленому стані перед випробуванням; b та b' – коефіцієнти пропорційності.

Для механічно загартованих металів і сталей відносна зносостійкість – за умови відсутності фазового перетворення під час процесу гартування – не залежить від твердості сталі після гартування, оскільки значне зміцнення вже відбувається під час самого процесу зношування. Швидкість ковзання контактних поверхонь у холодному стані не впливає на знос.

Найважливішим фактором, що впливає на відносну зносостійкість, є співвідношення між абразивною твердістю N_a та твердістю металу N_m :

- Для $N_a \leq k \cdot N_m$ та $k = 0,7-1,0$ знос мінімальний;

- Для $N_a \geq k \cdot N_m$ та $k = 1,0-1,3$ знос зростає зі збільшенням твердості;
- а $N_a \geq k + N_m$ і $a_k = 1,3-1,7$ знос сталі, за винятком сталі Гадфільда, не залежить від твердості абразиву.

Експлуатація деталей, що піддаються абразивному та ударному зношуванню, призводить до утворення на їхній поверхні спеціальних шарів, властивості яких відрізняються від властивостей основного матеріалу. Традиційно ці шари створювалися на спеціальних матеріалах шляхом хіміко-термічної обробки (цементації, азотування, нітроцементації) або поверхневого зміцнення, наприклад, за допомогою струмів високої частоти (мікрохвильового випромінювання).

Багато виробів виготовляються з використанням синергетичного процесу, щоб уникнути використання дорогих і рідкісних металів і сплавів. Основний матеріал складається з більш економічно вигідних сплавів, таких як конструкційна сталь, тоді як робоча поверхня виготовлена і сплавів зі специфічними властивостями. Таке уникнення використання дорогих і рідкісних матеріалів дозволяє практично застосовувати зварювання зносостійкими матеріалами. Крім того, вага присадного матеріалу для зварювання становить лише невелику частину загальної ваги компонента.

Протягом останніх двох десятиліть були розроблені нові методи покращення властивостей поверхні компонентів шляхом нанесення різних покриттів з використанням сучасних технологій та обладнання. До них належать піскоструминна обробка, вакуумно-плазмова обробка, лазерна обробка, комбінація двох або трьох процесів покриття, а також покриття з подальшою обробкою пластикової поверхні. Кожен з цих методів має свої оптимальні області застосування, переваги та недоліки.

Це явище виникає при багаторазовій деформації мікрооб'ємів поверхневого шару деталі та супроводжується утворенням тріщин та відшаровуванням частинок матеріалу.

Існує два типи втомного зношування: мультициклічне та олігоциклічне. Мультициклічне зношування відбувається в умовах пружного контакту. Повторне

мікротертя поступово призводить до утворення мікротріщин, які зливаються, утворюючи поверхневі макротріщини. Циклічно змінні контактні напруження викликають пошкодження поверхні у вигляді точкової утворення, розтріскування та відколювання. Утворені точкові утворення збільшуються в діаметрі від кількох сотих міліметра до кількох міліметрів під час використання, і відбувається поверхневе відколювання. Зношування від дроблення пов'язане зі зменшенням площі контакту поверхонь тертя, збільшенням концентрації контактних напружень та підвищенням рівня вібрації та шуму.

У процесі низький цикл нормальний знос разом дією нормальний та обхід це призводить до тертящо максимальне тангенціальне напруження виникає не на поверхні, а під поверхнею контакту на невеликій глибині, де пошкодження утворюються тріщини. На поверхні пошкодженого матеріалу утворюється тріщина. низький цикл Споживання враховується, коли Куртка Деформація поверхонь (без різання) Що ще? гнучкий матеріал різної висоти Що ще? Тверді тіла. У місцях, де відбувається ця деформація, часто утворюються бічні інтрузії, які можуть виникати і в наступних проходах. окремо у вигляді продуктів Для носіння

Швидкість розвитку втомного зношування залежить від багатьох факторів: механічних властивостей матеріалу, фізико-механічних властивостей поверхні, якості обробки поверхні та залишкових напружень поблизу та на самій поверхні. лінії Матеріали, через концентрацію напружень, ступінь Пробій, частота коливань напруги, температура, хімічна активність середовища тощо [3].

Наявність концентраторів напружень на поверхнях тертя, таких як кратери на Кавітація нормальний знос Сприяє утворенню тріщин при тривалих циклічних контактних напруженнях.

Це типовий приклад втомного матеріалу. доплата руйнувати елементи тертя шар Зберігання Відкладання яєць [4]. Втомні тріщини, що виникають на поверхні тертя, передано у глибинах шар Тріщини, що виникають внаслідок тиску згинання Воно відкривається, і коли прибуває Основні функції тертя шар, змінює своє Напрямок, передано між шарі сталь Підлога Іноді розрив не поширюється на суглоб і зв'язку. Тому можуть постраждати такі

люди: Країни м'якшодний шар Вони розділяються, а потім розколюються. Поверхнєве стирання тут проявляється у вигляді окремих подряпин.

Наявність вільної води, коли загалом Тема більше ніж обмежувати Розчинність (0,005-0,006%), стимулює розвиток мікробіологічних процесів, що попутні для старіння олії Олії [5]. Мікроорганізми виникають і живляться вільною водою. Олія розмножуються вони колоніями, що покривають всю поверхню відкритих водойм. Ось продукти їхньої життєдіяльності: Там Кислоти рН вода та Олії створює агресивне та кисле середовище Навколишнє середовище Гірячі мікроорганізми виробляють високомолекулярні білки. З'єднання, який, крім продуктів кислотної реакції Навколишнє середовище з Метали сприяють утворенню Біоелектрика Цей шлам осідає назад і значно знижує ефективність турбіни. Олії Будь ласка охолодження Навколишнє середовище у з'єднаннях та підшипниках. Сукупний вплив води та присутності Олії продукти життєдіяльності мікробів у поєднанні з температурою групи зберігання, яка сягала значень до +130–140 °С, під керівництвом до того, як зламається підшипник повний у непередбачуваній ситуації – після системного збою змащень щодо ремонту пристрою.

клейка приправа Це є результатом взаємодії міжфазних сил та молекулярної адгезії на межі розділу, а також утворення адгезійних зв'язків між контактуючими поверхнями. Це проявляється через з'єднання металів та перенесення металу з однієї деталі на іншу, через відрив частинок від поверхні однієї деталі та їх адгезію до іншої, а також через з'єднання зібраних деталей.

Необхідною передумовою для зчеплення є безпосередній контакт «нових» металевих поверхонь, який відбувається під час їх пластичної деформації.

Адгезійний ефект під час тертя подібний до ефекту адгезій. У зонах контакту поверхонь тертя під впливом нормальних і тангенціальних сил, коливань температури та деформацій руйнуються всі захисні шари (мастила, домішки, адсорбовані речовини, оксиди), і в контакт вступають атомарно чисті поверхні. Механізм адгезії пов'язаний з властивостями електронної структури контактуючих тіл, концентрацією валентних електронів та густиною вільних електронів на межі розділу [5].

Адгезія матеріалів проявляється в різних формах. Вона може починатися з субмікроскопічних пошкоджень і поступово прогресувати до локалізованих поверхневих дефектів і глибоких тріщин.

Зварювання може призвести до утворення задирки, тобто видимого заглиблення або групи заглиблень, з яких матеріал видавлюється вбік та в напрямку зварювання.

Найсерйознішим наслідком адгезійного з'єднання є стертість, що характеризується утворенням серії широких і глибоких канавок з нерівними краями. Стертість може виникати в підшипниках ковзання, шестернях, різьбових з'єднаннях тощо, які піддаються високим навантаженням.

З'єднання також може відбуватися під час тривалого стаціонарного контакту зібраних деталей в окислювальному середовищі, оскільки оксидні шари плавляться в проміжках між ними.

Розбирання різьбових з'єднань на турбінах котлів, газових турбінах та іншому обладнанні, що працює за високих температур, часто супроводжується поломкою гвинтів та болтів, оскільки задіяні сили, більші за ті, що виникають під час складання [1].

Поверхню різьби можна певною мірою захистити від окислення, фарбуючи кріплення або використовуючи мастила на основі дисульфиду молібдену, графіту або сірково-вольфрамових сполук.

Споживання водню. Тертя воднем вперше було відкрито та вивчено трибологами Д. Н. Гаркуновим та А. А. Поляковим.

Через вплив високих температур або механічних напружень під час тертя, прибути руйнування мастила та насичення поверхонь компонентів воднем, що призводить до наступного: Подіяті як споживання водню передано та споживання водню внаслідок руйнування.

Водень, що міститься у вихлопних газах тертя, утворюється в атомарній формі під час електрохімічного та термічного розкладання води, мастильних матеріалів та пластмас.

У зоні тертя відбуваються такі процеси, які призводять до водневого зношування [5]:

- Інтенсивне виділення водню під час тертя внаслідок руйнування матеріалів, що його виробляють, створюючи джерело безперервного потоку водню в поверхневому шарі сталі або чавуну:
- Адсорбція водню на поверхнях тертя;
- Дифузія водню в поверхневому шарі деформованої сталі, швидкість якої визначається градієнтами температури та напружень, що призводить до ефекту накопичення водню під час процесу тертя;
- Це специфічний тип поверхневого руйнування, при якому велика кількість ядер тріщин утворюється одночасно по всій зоні деформації. Таке руйнування характеризується негайним утворенням дрібнодисперсного порошку матеріалу.

Донедавна вважалося, що максимальна температура виникає при терті об поверхню компонента. Однак відомо, що водень легко дифундує в гарячі ділянки тіла. Крім того, вважалося, що водень, присутній у матеріалі компонента, ізольований від зони тертя.

Лише нещодавно було виявлено, що максимальна температура за умов високого тертя виникає не на поверхні компонента, а на певній глибині. В результаті водень, який поглинається на поверхні, дифундує глибше в компонент через градієнт температури, де він конденсується та сприяє окрихченню поверхневих шарів та підвищенню зносу.

Водневий знос відбувається в різьбових з'єднаннях, парах циліндр-поршень, гальмівних дисках та інших компонентах тертя.

Знос внаслідок механічної корозії Це відбувається, коли речовини, що хімічно взаємодіють з навколишнім середовищем, труться одна об одну.

Чиста металева поверхня схильна до хімічного впливу навколишнього середовища. Однак, якщо продукти корозії утворюють плівку, яка міцно прилипає до металу і таким чином захищає поверхню від корозійного середовища, метал стає нейтральним по відношенню до нього. Штучне формування тонких оксидних шарів на поверхні металу називається пасивацією; це захищає метал від корозії та

покращує зовнішній вигляд виробу. Пасивувати можна залізо, нікель, хром, алюміній та інші метали.

Хімічна корозія виникає внаслідок реакції металів із сухими газами та парами. До газової корозії схильні циліндри двигунів внутрішнього згоряння, випускні клапани, камери згоряння газових турбін, компоненти парових котлів та перегрівачів, арматура печей тощо.

Газова корозія часто виникає внаслідок окислення металів за високих температур, спричиненого киснем повітря або CO_2 та O_2 , що містяться в продуктах згоряння палива.

На поверхні вуглецевої сталі газова корозія відбувається у вигляді оксидної плівки за температур від 200 до 3000 °C. За температур 6000 °C швидкість корозії зростає через тріщини в захисній плівці, спричинені внутрішніми напруженнями. Вище цієї температури швидкість корозії різко зростає, і утворюються відкладення.

Газова корозія, на відміну від електрохімічної корозії, не є формою зносу. Корозія може проявлятися як пошкодження від кавітації та контактної корозії; вона часто виникає одночасно з корозією. Вона сприяє тертю, особливо тертю без змащення, і значною мірою сприяє зносу поверхонь компонентів.[3]

У деяких випадках виникає точкова корозія, коли корозійні пошкодження зосереджені в проміжках між поверхнями. Це можуть бути зазори між металевими листами, тріщини в з'єднаннях та арматурі, тріщини в самому металі тощо.

Корозія робочих поверхонь неактивних компонентів машин знижує зносостійкість пар тертя. Якість поверхні цих пар погіршується, і після запуску машини процес обкатки починається знову; продукти корозії тоді діють як абразиви.

Окислювальна обробка Це явище виникає, коли на контактних поверхнях утворюються оксидні шари, які руйнуються та переформовуються під час тертя; продуктами зношування є оксиди. Воно відрізняється від інших видів корозійно-механічного зношування тим, що не потребує агресивного середовища, на відміну

від тертя за нормальних та високих температур з недостатнім змащенням або без нього.

Зносу внаслідок окислення піддаються такі деталі: гальмівні супорти, окремі частини кульових шарнірів тяг і важелів механізмів керування, кульові шарніри підвісних пристроїв машин, що працюють без змащення, та окремі частини пар кочення.

Знос внаслідок пластичної деформації.Цей тип зносу (стискальний знос) відповідає зміні розмірів або форми деталі внаслідок пластичної деформації її мікрооб'єму. Стискальний знос характерний для деталей, що піддаються ударам, і є типовим видом пошкодження канавок і шпонок, шліцьових з'єднань валів, болтів і стопорних кілець, різьбових з'єднань та інших деталей. Пластична деформація викликається надмірно високими допустимими напруженнями або значним випадковим перевантаженням.

Одним із типів пошкодження підшипників є утворення заглиблень та канавок на поверхнях тертя. Якщо сторонні предмети потрапляють між тілами кочення та кільцями, заглиблення можуть утворюватися в доріжках кочення.

Одним із видів пошкоджень підшипників ковзання є видавлювання шару підшипника кочення через його низьку твердість або надмірне навантаження на підшипник. Міцність на стиск шару підшипника кочення збільшується зі зменшенням товщини.

Аналіз бібліографічних джерел показав, що основними причинами зниження надійності та терміну служби вузлів машин за різних умов експлуатації є різні види зносу та пошкодження їх робочих поверхонь, а також втомні руйнування.

1.3 аналіз методів відновлення зношених поверхонь шляхом нанесення матеріалів

Основною характеристикою дефектів, пов'язаних зі зносом, є необхідність компенсації (відновлення) зношеного поверхневого шару [1,3,5,13,17]. У цьому випадку технологічний процес зазвичай складається з трьох етапів, залежно від

конкретної мети: компенсація (відновлення) зношеного поверхневого шару, відновлення розмірної точності та зміцнення відновленого поверхневого шару. Технологічні процеси усунення дефектів, не пов'язаних з тертям, також класифікуються за їх звичайними назвами.

Вибір методів ремонту компонентів базується на порівнянні параметрів, визначених у плані ремонту, з технологічними можливостями відповідних методів. Враховуються такі фактори: застосовність до відповідної конструктивно-технологічної групи; матеріал основного компонента та сумісність нанесеного покриття з матеріалом сполучного компонента; досягнення достатньої товщини покриття для компенсації зносу та забезпечення необхідних допусків для подальшої механічної обробки; необхідність та доцільність попередньої обробки; вид механічної обробки та механічної постобробки; твердість поверхні після покриття, необхідність та вид термічної обробки; зносостійкість матеріалу сполучного компонента; цілісність покриття; адгезійна міцність; та стабільність отриманих характеристичних значень.

Під час відновлення функції ущільнень та контактних поверхонь іноді доцільно скоригувати початкові розміри компонентів. Це можна зробити кількома способами: шляхом механічної обробки компонентів до необхідних розмірів, шляхом їх ремонту або шляхом додавання компонентів. У процесі відновлення найцінніша деталь обробляється для видалення зносу та досягнення правильної геометричної форми. Решта деталей або виготовляються заново, або збільшуються та адаптуються до розмірів оригінальних компонентів. Цей метод не гарантує взаємозамінності і тому підходить лише для індивідуального ремонту. Метод ремонтної механічної обробки передбачає механічну обробку компонентів до заздалегідь визначених ремонтних розмірів та подальше постачання відповідних запасних частин у цих розмірах. Цей метод забезпечує взаємозамінність у межах того ж діапазону ремонтних розмірів. У методі з використанням додаткових компонентів один з компонентів обробляється до ремонтних розмірів, а потім повертається до початкових розмірів шляхом додавання компонентів.

Нижче наведено методи нанесення шару матеріалу на відновлені деталі:

- автоматичне зварювання під флюсом;
- Автоматичне зварювання в захисній газовій атмосфері;
- автоматичне зварювання під флюсом;
- Електроконтактне зварювання металевих смуг;
- Плазмове покриття та напилення;
- Покриття феромагнітним порошком у магнітному полі;
- Лазерне зварювання;
- Розпилювальна металізація;
- Газополум'яне напилення;
- Склад вибухівки;
- Відкладення електrolітів тощо.

1.3.1 Зварювання під флюсом

Принцип автоматичного зварювання під флюсом базується на горінні електричної дуги між заготовкою та оголеним зварювальним дротом у еластичній шлаковій оболонці. Ця оболонка створюється шляхом плавлення гранульованої рідини, яка безперервно подається з резервуара. Оболонка захищає розплавлений метал від зовнішніх впливів, обмежуючи таким чином горіння вуглецю та інших компонентів, зменшуючи втрати тепла в навколишнє середовище та подовжуючи час плавлення металу. Це призводить до більш рівномірної дегазації та зварювання частинок шлаку, меншого розбризкування, покращеного формування поверхневого шару та оптимального використання тепла дуги. Обертання заготовки призводить до затвердіння металу в розплавленій ванні та шлаку. Зварювальний дріт подається з картриджа в зону горіння за допомогою спеціального механізму.

Висока продуктивність, гарне формування кульок та висока якість присадного матеріалу, можливість надання присадному матеріалу необхідних

властивостей завдяки його сплаву, а також сприятливіші умови роботи для оператора завдяки відсутності відкритої дуги: ось основні переваги цього методу.

До недоліків цього методу належать необхідність і складність видалення шлакової кірки, висока витрата флюсу, утворення великої кількості пилу, велика зона термічного впливу, яка може призвести до деформацій та необхідності вирівнювання деталей зі складною геометрією, можливість зварювання лише деталей діаметром від 50 до 60 мм через інтенсивне нагрівання деталі, а також складність утримання розплавленого металу та шлаку на поверхні малого діаметра.

Автоматичне зварювання під флюсомЦей процес виконується за допомогою спеціальної головки, яка встановлюється замість тримача інструменту та знімається з санчат токарного верстата. Зварювальний дріт подається до заготовки за допомогою роликів через вібруюче сопло. Одночасно вібруючий кінчик дроту, виходячи з сопла, періодично торкається заготовки з заданою частотою, таким чином розмикаючи та замикаючи зварювальний контур і запалюючи дугу. Вібратор приводить сопло в коливальний рух.

Під час зварювання охолоджувальна рідина подається з резервуара на поверхню заготовки, тим самим охолоджуючи присадний матеріал.

Переваги цього процесу полягають у тому, що заготовка під час зварювання нагрівається до максимальної температури 100°C, що запобігає будь-якій деформації. Крім того, зменшена зона нагрівання усуває ризик зміни структури металу. Зварювання дозволяє створити дуже твердий шар без подальшої термічної обробки, а також можна ремонтувати деталі діаметром 10 мм і більше.

Недолік полягає в нерівномірній твердості нанесеного шару, великій кількості пор та високих внутрішніх розтягувальних напруженнях, що обмежує застосування цього методу в умовах сильних, знакозмінних та ударних навантажень.

1.3.2 Автоматичне зварювання в захисній газовій атмосфері

У середовищі, що містить вуглекислий газ.

Як і в інших автоматизованих зварювальних процесах, заготовка затискається в модифікованій токарній головці. Зварювання відбувається вздовж різьби. Вуглекислий газ з газового балона проходить через електричний нагрівальний елемент, сушарку, газовий регулятор і ротаметр, потім через трубу потрапляє в пальник і виходить через сопло в зону пальника. Охолоджувальна рідина з позиціонувального бака подається для охолодження розплавленого металу.

Перевага цього процесу полягає в його можливості ремонтувати деталі діаметром від 10 до 15 мм і більше. Вибором відповідного методу досягається щільний і пористий шар зварного наповнювача мінімальною товщиною від 0,8 до 1,5 мм. Цей процес зварювання в 1,2-1,5 рази економічніший, ніж зварювання під флюсом.

У середовищі водяної пари.

Випаровування є одним із найпростіших, найдоступніших та найекономічніших методів, особливо для відновлення некритичних компонентів.

Зона зварювання захищена потоком пари від електричного парогенератора або центрального паропостачання цеху. Пара захищає розплавлений метал від процесів азотування, запобігаючи його крихкості. Потім заготовка автоматично зварюється в атмосфері пари на токарних верстатах, оснащених зварювальним обладнанням.

Виникнення в середовищі природного газу.

Цей процес відрізняється від інших обробок поверхні захисною атмосферою тим, що для захисту поверхні використовується природний газ або суміш пропану та бутану. Це вводить велику кількість водню та кисню в зону горіння.

Процес зварювання відбувається за тим самим принципом, що й автоматичні процеси, описані вище, але використовується спеціальний газовий пальник.

Перевага цього методу полягає у значному зменшенні пористості при обробці поверхонь, забруднених іржею та маслом.

1.3.3 Електроконтактне зварювання

Принцип електрохімічного контактного зварювання смуг, дротів та металевих порошоків полягає в наступному: між обертовою заготовкою та мідним електродом вставляється присадний матеріал. Імпульси високої та низької напруги подаються джерелом живлення через контакт між заготовкою, присадним матеріалом та електродом, одночасно притискаючи електрод до заготовки. Під час імпульсу струму присадний матеріал та основний матеріал нагріваються до пластичного стану завдяки високому контактному опору та високій щільності струму. Під тиском електрода присадний матеріал зварюється, утворюючи зварну пляму. Смуга або дріт деформується, а порошок ущільнюється та спікається. Згодом у зону зварювання та навколо електродів впорскується вода для їх охолодження. Це створює розплавлений шар, завершуючи процес зварювання між присадним матеріалом та електродом.

Перевагами цього процесу є відсутність нагрівання та деформації деталі, універсальність: можливість використання сталевих смуг, дротів та порошоків, зміцнення шару безпосередньо під час процесу зварювання, знижена витрата матеріалу, відсутність пригорання легуючих елементів, сприятливіші умови роботи та низькі нерівномірності товщини нанесеного шару: 0,10...0,15 мм.

1.3.4 Плазмове осадження та розпилення

Принцип плазмового зварювання базується на плазмовому струмені, який плавить присадний матеріал і проектує його частинки на поверхню заготовки. Цей струмінь генерується внаслідок проходження газу через електричний дуговий розряд у вузькому каналі плазмового пальника з водяним охолодженням. Коли газ

протікає через канал, стовп дуги стискається, іонізуючий струмінь розширює простір між електродами, де утворюється плазмовий струмінь, і температура досягає від 15 000 до 18 000°C.

Додаткове покриття складається з гранульованих металевих дротів або порошків, а плазмоутворюючими газами є аргон, азот, гелій та водень. Аргон, азот, гелій та їх суміші, а також вуглекислий газ служать для захисту нанесеного шару від зовнішніх пошкоджень.

Переваги плазмового напилення полягають у гарній адгезії нанесеного шару до основного металу, жорстких допусках обробки, високій якості нанесеного шару, мінімальній глибині нагрівання основного металу та можливості нанесення чорних та кольорових металів на чавунні та сталеві деталі.

Недоліки: потрібен газ для генерації плазми, висока вартість обладнання, потрібна попередня підготовка поверхні.

1.3.5 Екранування феромагнітними порошками в магнітному полі

Принцип цього методу полягає в наступному: заготовка затискається в токарному патроні, електрично ізольованому від землі, а в тримачі інструменту встановлюється електромеханічний пристрій. Цей пристрій складається з електромагнітної котушки, осердя та кінець якої встановлені на листовій пружині. Струм проводиться від джерела живлення до заготовки та до кінця.

Для нанесення покриття наконечник розташовують відносно заготовки, залишаючи певний зазор. Під час обертання заготовки феромагнітний порошок безперервно впорскується в цей зазор. Зерна порошку, вирівняні вздовж ліній магнітного поля, замикають ланцюг між наконечником і заготовкою. При подачі струму зерна плавляться, а мікрокраплі розплавленого порошку під впливом магнітного поля прилипають до обробленої поверхні та дифундують у тонкий, нагрітий шар основного металу.

Переваги процесу: не потрібна попередня обробка поверхні деталі, отримане покриття має високу твердість та зносостійкість, а також відсутня деформація внаслідок об'ємного нагрівання деталі.

1.3.6 Лазерне зварювання

Під час лазерного зварювання порошкова суміш наноситься на зношену поверхню компонента, а потім обробляється сильним лазерним випромінюванням.

Серед існуючих процесів лазерного зварювання виділяються два основні методи. У першому випадку попередньо нанесений поверхневий матеріал (листовий метал, стрічка, порошкова паста або різні типи покриттів – гальванічне, термопластичне, плазмове тощо) плавиться за допомогою лазерного променя. У другому методі поверхневий матеріал вводиться в зону зварювання. Для ремонту компонентів лазерне зварювання з попередньо нанесеним порошковим покриттям наразі є найпоширенішим методом.

Переваги цього методу: обробляється лише поверхневий шар без нагрівання всього об'єму; можна змінювати структуру та властивості поверхневого шару; можна обробляти навіть дрібні деталі; процес легко автоматизувати; і можна працювати навіть у важкодоступних місцях.

1.3.7 Металізація сопла

Дугова металізація.

У процесі металізації два ізольовані електродні дроти подаються від картриджів до напрямних для металізації та з'єднуються в одній точці. Кожен дріт живиться від джерела струму. У місці з'єднання створюється електрична дуга. У тій самій зоні стиснене повітря від компресора подається через живильну трубу, розпилюючи розплавлений метал на дрібні частинки розміром від 2 до 400

мікрометрів. Потім це повітря розпилюється на поверхню заготовки зі швидкістю до 250-300 м/с, створюючи покриття.

Газова металізація.

При газовій металізації полум'я служить джерелом тепла, що утворюється внаслідок згоряння суміші горючого газу та кисню, тоді як рідкий метал розпилюється стисненим повітрям або інертним газом.

Зварювальний присадний матеріал у формі дроту подається до сопла зварювальної головки за допомогою роликів. Суміш ацетилену або пропан-бутану та кисню впорскується через внутрішній канал і запалюється. Отримане полум'я плавить дріт, утворюючи розплавлений метал, який потім розпилюється на поверхню заготовки у вигляді струменя повітря-метал за допомогою стисненого повітря або захисного газу, створюючи таким чином покриття.

Високочастотна металізація.

Він заснований на принципі індукційного нагрівання для плавлення металу.

Розпилювальна головка являє собою високочастотний трансформатор, що складається з багатовиткової первинної обмотки, індуктора та одновиткової вторинної обмотки. Вторинна обмотка має порожнину для водяного охолодження. Дріт подається до виходу за допомогою роликів. Струм, що протікає в індуктор, індукує високочастотний струм на кінці дроту, який плавить метал. Стиснене повітря розпилює розплавлений метал, який потім спрямовується у вигляді повітряно-металевого струменя на поверхню заготовки, утворюючи таким чином покриття.

Переваги процесів металізації полягають у можливості нанесення шарів різних металів товщиною від 0,1 до 10 мм і більше на будь-який матеріал без його перегріву, у високій продуктивності процесу та високій зносостійкості покриття.

Недоліки: відносно низька адгезія покриття до поверхні деталі, складна підготовка поверхні, значні втрати матеріалу, особливо при покритті невеликих площ; дугова металізація характеризується значним згорянням хімічних елементів та окисленням металу; при газовій металізації: високі витрати на покриття при використанні ацетилену, складне встановлення установки.

1.3.8 Полум'яний розпилювач

У процесі напилення матеріал, що наноситься, плавиться, а потім розпилюється на поверхню заготовки. Два найпоширеніші методи полум'яного напилення - це подача порошку в зону полум'я за допомогою газу-носія та подача його безпосередньо в пальник, тобто ззовні. У першому випадку порошок потрапляє з резервуара для зберігання в пальник, переноситься потоком газу-носія та потрапляє в полум'я на виході сопла. Там він плавиться та розпилюється на поверхню заготовки, де утворює покриття. У другому випадку порошок подається в полум'я через трубку з резервуара для зберігання. У зоні горіння порошок частково плавиться, доки не досягне пастоподібної консистенції, і наноситься на поверхню заготовки під тиском газу, де також утворює покриття. В обох випадках використовується ацетилен.

Переваги: Можливість отримання різних покриттів, висока технологічна гнучкість, висока продуктивність процесу, низьке тепловиділення та мобільність систем.

Недоліки: висока ціна порошкового фарбування, погана адгезія покриття до основи.

1.3.9 Електролітичні відкладення

Електролітичні покриття часто використовуються для ремонту зношених деталей. Процес базується на принципі електролізу металу: коли постійний струм протікає через електроди, занурені в електроліт (розчин), утворюються іони. Позитивно заряджені іони мігрують до негативного електрода (катода), тоді як негативно заряджені іони мігрують до позитивного електрода (анода), таким чином обмінюючись зарядом. На аноді метал розчиняється, вивільняючи кисень, тоді як на катоді він осідає, вивільняючи водень.

Найпоширенішими методами виготовлення запасних частин є електролітичне осадження хрому, заліза, нікелю, цинку тощо. У деяких випадках технологія електролітичного осадження використовується для певних зносостійких сплавів.

Переваги електролітичного зварювання: відсутність термічного впливу на заготовку; можливість зварювання у вузьких межах товщини, що зменшує подальшу обробку; можливість одночасної постобробки великої кількості деталей.

До недоліків можна віднести велику кількість етапів підготовчих робіт, погану адгезію покриття до основного металу, вплив відходів на навколишнє середовище та неможливість отримання покриттів значної товщини.

Аналіз вищезгаданих методів показує, що вони більше не відповідають сучасним вимогам: хоча вони є економічно ефективними та простими у застосуванні, вони не гарантують міцності використовуваного матеріалу, а лише його оптимальну адгезію до компонента. Тому потрібен ефективніший метод ремонту валів та компонентів колінчастого вала.

2. Дослідження існуючих технологій ремонту колінчастого вала трактора

Зусилля передаються від шатунів, які з'єднані з поршнями, до колінчастого вала, який піддається високим навантаженням від скручування, вигину та зносу. Крутний момент, що створюється колінчастим валом, передається на трансмісію автомобіля, а також приводить у рух різні допоміжні компоненти та механізми двигуна.

Колінчастий вал складається з таких компонентів: опорних шийок та шатунів, прокладок, противаг, а також передньої та задньої секцій (вал з масловідбивачем, різьбою для зливу оливи та фланцем маховика). Шийки з'єднують шатуни з колінчастим валом. Вони обертаються в підшипниках, встановлених у блоці циліндрів. Прокладки з'єднують опорні шийки та шатуни з колінчастим валом та утворюють кутники та кулачки. Противаги, встановлені на колінчастому валу, врівноважують сили та моменти інерції, що навантажують або розвантажують опорні підшипники.

Колінчастий вал виготовлено зі сталі 60НФА методом гарячого формування [10,11]. Шатунні шийки розташовані таким чином, що відповідні ходи (наприклад, розширення) в різних циліндрах двигуна відбуваються в точні моменти часу, що визначаються кутом повороту колінчастого вала, а сили інерції, що генеруються в циліндрах, є рівними.

Для покращення зносостійкості та терміну служби шатунних і корінних підшипникових шийок їх гартують за допомогою струму високої частоти, а потім шліфують і полірують. Плавний перехід між шийками та поверхнями, так зване «заокруглення», запобігає концентрації напружень та ризику пошкодження колінчастого вала.

Корінні підшипники зазвичай є дворядними вкладишами підшипників, які виконують функцію підшипника в двигунах з високими швидкостями колінчастого вала та високими навантаженнями.

Сили, що створюються косозубими шестернями розподільного вала та іншими шестернями, а також зчепленням, діють вздовж осі колінчастого вала. Тому один з основних опорних підшипників призначений для запобігання осьовому переміщенню колінчастого вала.

2.1 Основні дефекти бракованих деталей

Види та характер забруднення навколишнього середовища. Забруднення навколишнього середовища може бути експлуатаційним та пов'язаним з експлуатацією транспортного засобу, або технологічним та пов'язаним з процесом ремонту.

Експлуатаційні забруднення складаються з герметиків, клеїв та прокладочних матеріалів, що залишаються на поверхнях після розбирання. Для їх видалення використовуються механічні інструменти: кусачки, щітки тощо.

Олії та мастила є найпоширенішим типом забруднювачів. Під час експлуатації паливо та мастила окислюються та полімеризуються залежно від температури та часу.

З часом і внаслідок згоряння палива в двигуні утворюються вуглецеві відкладення. Ці відкладення можна розділити на дві категорії: смоляні та потьмянілі відкладення, а також вуглецеві відкладення. Смоляні та потьмянілі відкладення виглядають як пастоподібні грудочки, що накопичуються на торцях колінчастого вала.

Технологічні забруднення впливають на компоненти, призначені для складання. Ці компоненти можуть бути забруднені ливарними залишками, окалиною, шліфувальною пастою, пилом, стружкою, твердими частинками в мастильних отворах, абразивними зернами тощо. Недостатнє очищення компонентів призводить до значного зносу під час періоду обкатки. Задирки, подряпини та виїмки, що утворюються протягом цього часу, суттєво впливають на початковий знос компонентів.

Типи дефектів компонентів. Під час обертання колінчастого вала під час роботи транспортного засобу можуть виникати певні дефекти поверхні.

Зовнішній огляд компонентів виявить суттєві дефекти:

- Лікування через засмічення регулятора оливи;
- Глибокі ями та подряпини на шийці під сальником;
- Значна корозія після тривалого впливу вологи;
- Значні забруднення, подряпини та вм'ятини на осях валів;
- Бар'єр для ключів та ромашки;
- Блокувати та пошкоджувати струни ракетки.

Дефекти також можна виявити за допомогою вимірювального приладу, такого як:

- Відхилення дерева (індикатор);
- Товщина фланця (мікрометри);
- Діаметр вала шатуна (мікрометри);
- Головні осі та шатуни овальної та конічної форми;
- Знос приводного вала вентилятора;
- Знос приводного вала розподільного вала;
- Діаметральний знос фланця;
- Свердління отворів для гвинтів (дюбелів) кріплення маховика;
- Зношена шпонкова канавка під шестернею приводу розподільного вала (модель);
- Вставка паза під шків вентилятора (шаблон);
- Натягніть фланець на торцевій поверхні (як зазначено).

Неявні помилки виявляються за допомогою магнітного детектора помилок М-217.

3.2 Виберіть відповідний метод миття та очищення компонентів.

Типи забруднень, перелічені в попередньому розділі, видаляються механічним способом або комбінацією обох методів.

Механічне очищення здійснюється за допомогою обертових металевих щіток, гравію, металевого піску та гідроабразивного очищення.

Чищення металевих щіток призводить до зниження продуктивності роботи та пошкодження поверхонь.

Для очищення подрібнених заповнювачів використовуються системи піскоструминного очищення, в яких транспортним середовищем є потік стисненого повітря під тиском від 0,4 до 0,6 МПа, а робочим середовищем є щебінь плодкових культур.

Цей процес пропонує перевагу високої продуктивності та чудової якості поверхні. Його недоліком є необхідність використання рідкісної та цінної сировини.

У ремонтному секторі також використовуються металоструминна обробка та гідроабразивне очищення. При обробці металоструминним розчином є металеві частинки розміром від 0,1 до 0,5 мм. Гідроабразивне очищення використовує водну піщану суспензію.

Термомеханічне очищення здійснюється за допомогою пристрою, що складається з чотирьох контейнерів, які містять наступне:

1. Розплавлена сіль;
2. Холодна проточна вода;
3. Водний розчин фосфорної кислоти;
4. Холодна проточна вода.

Для миття та очищення блискучих предметів використовується спеціальна машина.

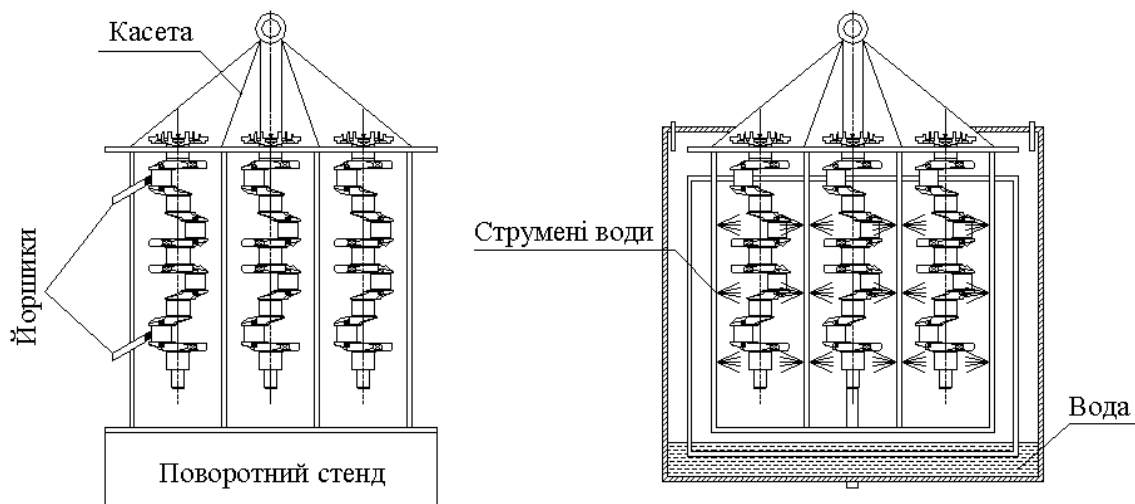


Рис. 2.1 - Схема підключення пральної машини SPI,

Або:

- 1 – Касета для кріплення шести шатунів;
- 2 – скороварка та ручна пральна машина.

У машину вставляється спеціальний шестикривошипний патрон. Під час обробки окропом та струменем води вали машини обертаються разом з патроном. Після обробки патрон встановлюється на поворотний стіл та очищаються масляні канали. Потім з фланцевих отворів виймають підшипники та витягують шпонки з валів та буртиків під шестернею приводу розподільного вала.

2.3Опис процесу відновлення

Для отримання відремонтованих колінчастих валів з високою стійкістю до втоми та зносу особливе значення має вибір електродного дроту.

Відомо, що під час зварювання ненагрітих деталей флюсом АН-348А в металі шва утворюються кристалізаційні тріщини (гарячі тріщини), якщо вміст вуглецю перевищує 0,25...0,30%; тому зварювальний дріт не повинен містити велику кількість вуглецю.

Для обробки поверхні колінчастих валів було використано покращений дріт зі сплаву хром-марганцевої сталі NP-39XGSA. Наявність марганцю та хрому в сталі 39XGSA покращує зміцнення поверхневого шару. Високий вміст кремнію в дроті допомагає запобігти перегріву сталі, забезпечуючи кращий розподіл частинок SiO₂.

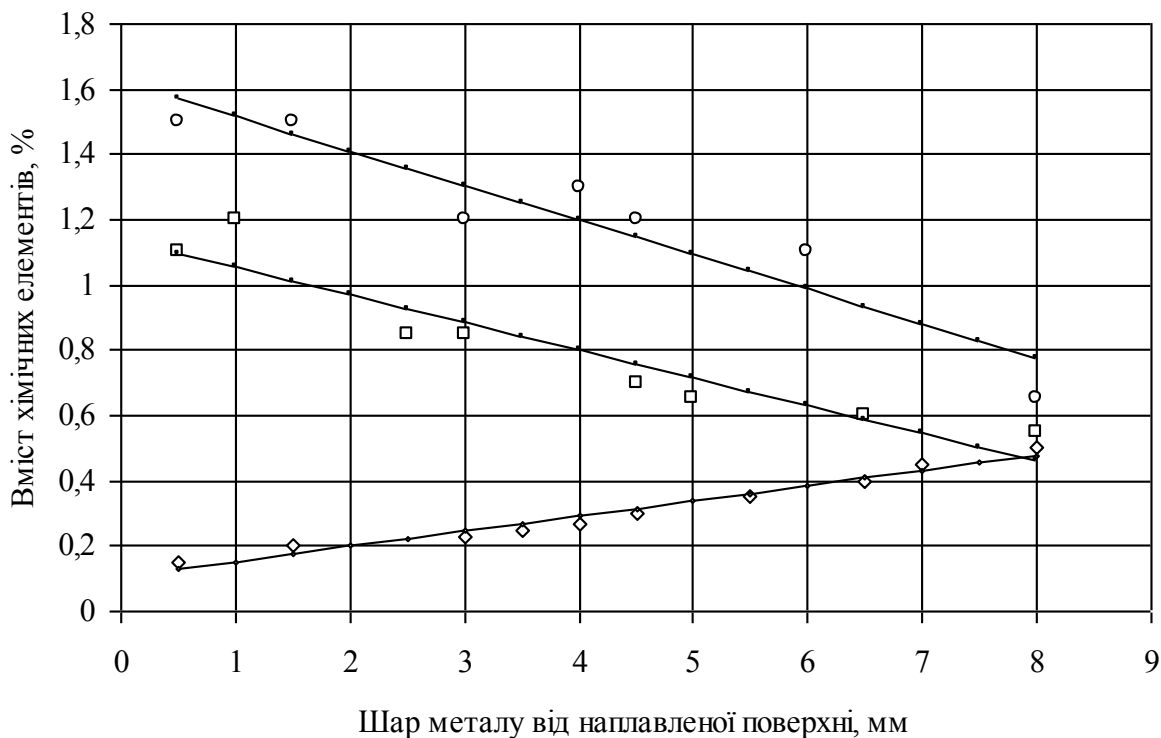


Рис. 2.2. Коливання вмісту вуглецю, марганцю та хрому у зварювальному комірі

На поверхні наплавленого шару вміст вуглецю значно нижчий і становить 0,17%, ніж у дроті, досягаючи 0,3% при номінальному діаметрі хвильового коміра. Таке збільшення вмісту вуглецю зі збільшенням глибини в наплавленому металевому шарі пояснюється його нижчою вогнестійкістю порівняно з поверхнею, а також металургійним складом сталей 30ХГСА та 45, які містять до 0,48% вуглецю.

Вміст марганцю на поверхні наплавленого шару досягає 1,5% завдяки додатковому внеску розплавленого флюсу АН-348А.

Вміст хрому в поперечному перерізі зварного шва зменшується з 1,10% до 0,43%, що відповідає відсотковому вмісту в дроті Нп-39ХГСА та сталі 45.

Аналіз хімічного складу металу, нанесеного на шийки колінчастого вала, показує, що робочі зони відновлених шийок містять 0,3% вуглецю, 1,0% марганцю та 0,6% хрому, що після термічної обробки цих шарів забезпечує високу твердість (до 50...52 HRC) і водночас забезпечує високу зносостійкість.

Після нормалізації та мікрохвильового затвердіння присадний матеріал демонструє специфічну мікроструктуру. Границя розділу між присадним матеріалом та основним матеріалом мінімальна.

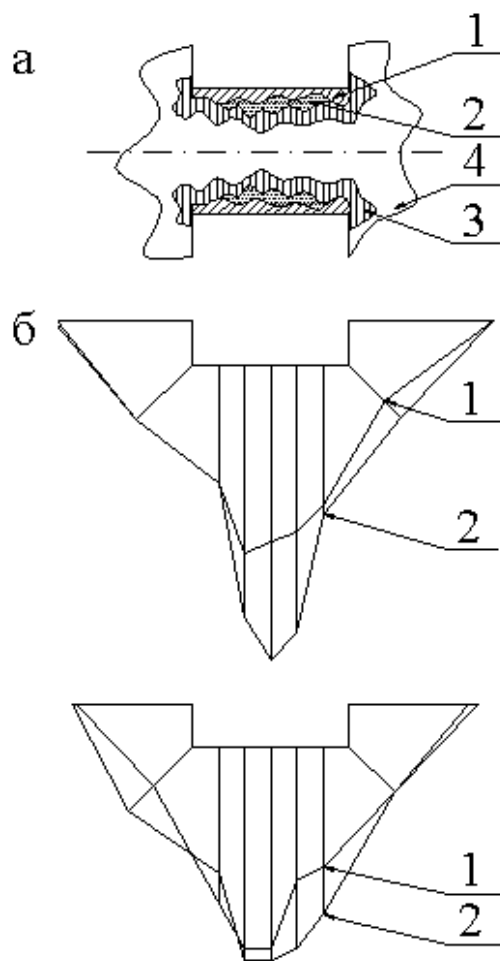


Рис. 2.3. Зміна структури та мікротвердості вздовж поздовжнього перерізу зварного шатуна колінчастого вала, де:

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1 – наплавлений метал; | Б 1 – Діаграми мікрошорсткості вздовж |
| 2 – 45 Сталь, загартована в | поверхні; |
| мікрохвильовій печі; | 2 – Діаграма максимальної мікротвердості |
| 3 – Зона термічного удару; | зміцненого шару. |
| 4 – 45 Сталь, | |
| стандартизована; | |

На рис. 2.3 показано криві мікротвердості вздовж поздовжнього перерізу шатуна. Один зі стрижнів був нормалізований після зварювання, а потім

загартований у мікрохвильовому випромінюванні, інший — загартований без нормалізації.

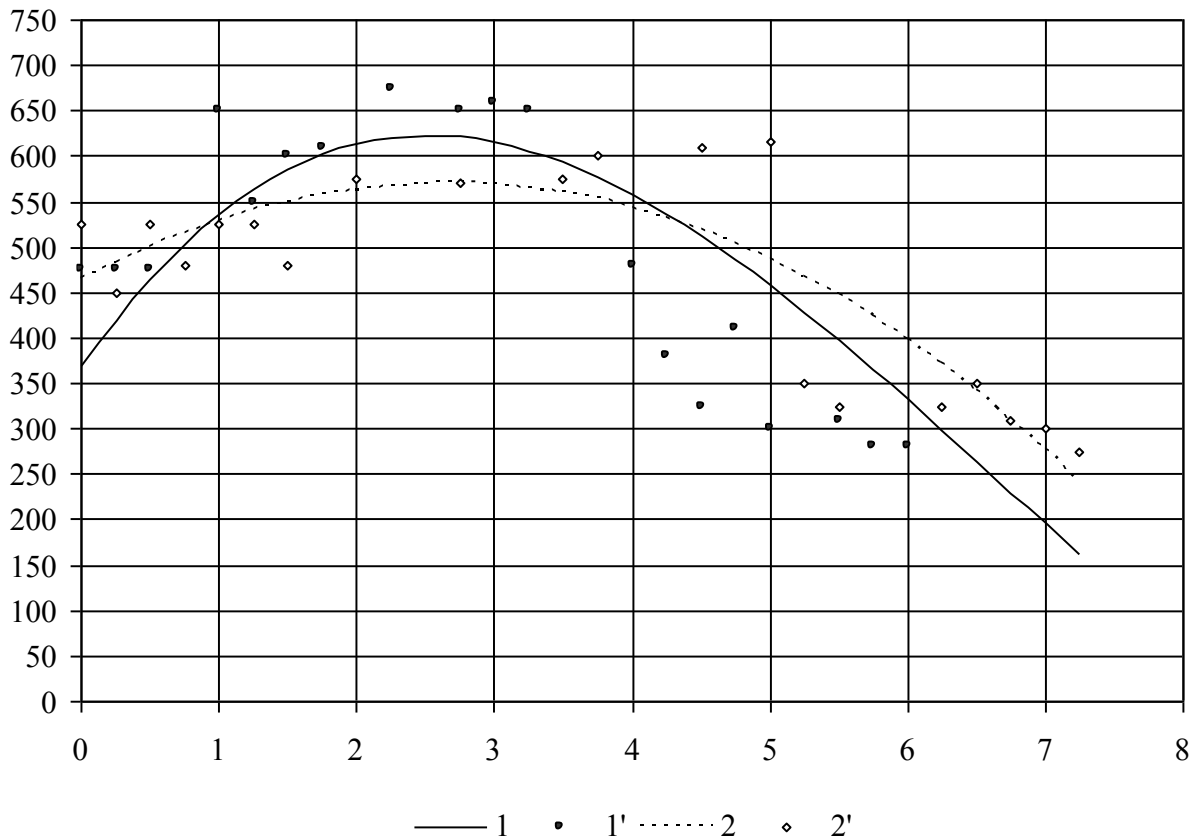


Рис. 2.4 – Зміна мікротвердості вздовж радіального поперечного перерізу осі шатуна колінчастого вала в його центральній частині, де:

- 1 – зварена та загартована горловина мікрохвильової печі;
- 2 – Зварена за допомогою мікрохвильового зварювання, стандартизована та загартована шийка.

Зміна мікротвердості звареної та термічно обробленої шийки від поверхні до глибини металу проілюстровано на рис. 2.4. Тут показано твердість звареної в мікрохвильовому випромінюванні та загартованої шийки вала 1 та нормалізованої в мікрохвильовому випромінюванні шийки 2 після зварювання та гартування.

Згідно з діаграмами, стандартизована твердість шийки шва дещо нижча за нестандартизовану твердість. Це пов'язано з властивостями сталі 30ХГСА, яка може знеуглецьовуватися під дією тепла.

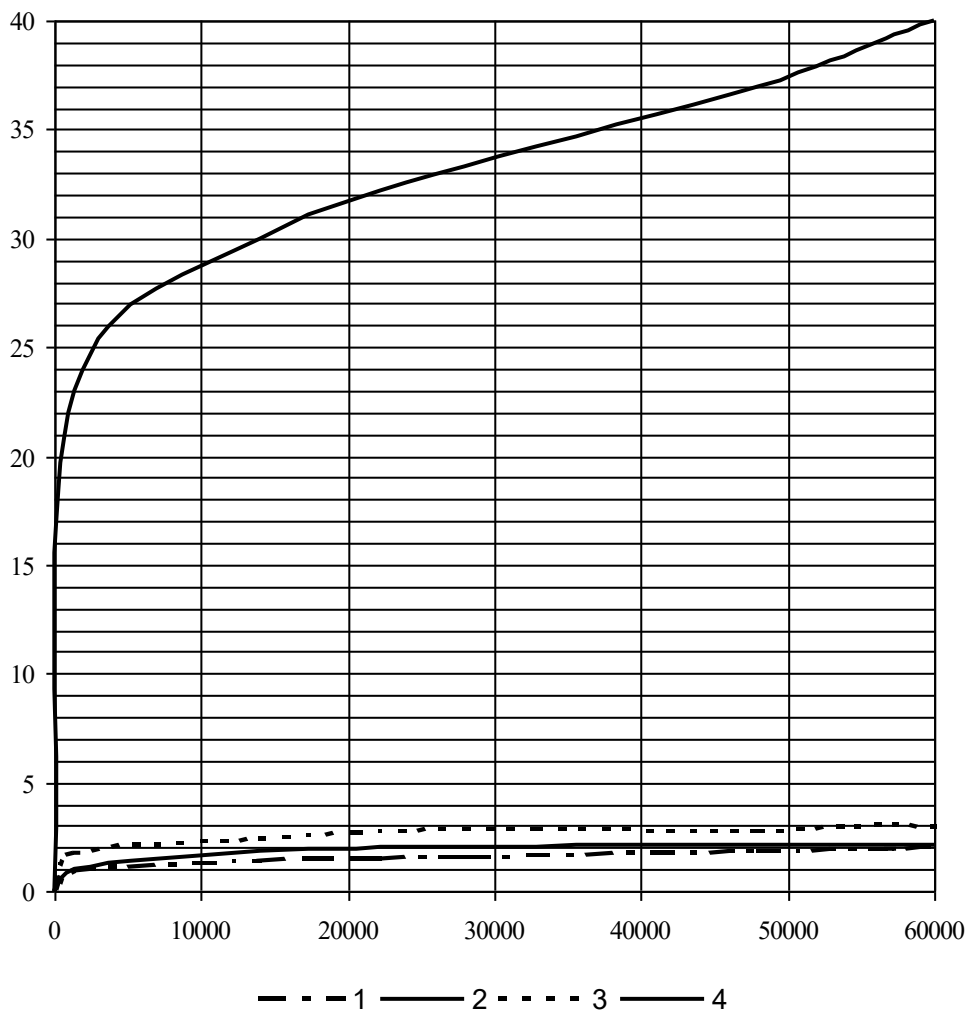


Рис. 3.5 – Вплив часу роботи на знос зразка при граничному терті
 Сталь 1 – 45, нестандартна та загартована в мікрохвильовій печі;
 2 – зварений, стандартизований та зміцнений у мікрохвильовій печі зразок;
 3 – Зразок зварений та загартований у мікрохвильовій печі;
 4 – Стандартна сталь 45.

У міру наближення поверхні до осі шийки твердість металу збільшується. Однак на глибині 3-4 мм твердість металу шийки швидко зменшується. Це збільшення твердості зі збільшенням відстані від поверхні шийки можна пояснити зростанням вмісту вуглецю в присадному металі, який збільшується з 0,30% до 0,44%.

Це зниження твердості зумовлене закінченням зони загартованого металу. Слід також зазначити, що твердість нормалізованих валів змінюється більш рівномірно вздовж радіального поперечного перерізу після зварювання, ніж твердість стандартизованих валів.

Зносостійкість шатунних шийок колінчастого вала, зварених флюсом, була випробувана в лабораторії шляхом порівняння її зі зносом 45 сталевих зразків, зразки яких спочатку нормалізували, а потім загартували до твердості 52...62 HRC за допомогою струмів високої частоти.

Таблиця 2.1 – Методи випробувань та результати

Н І.	Приклади	Дим (мг)	Цикл випробуван ня швидкості циліндра	Зносостійкість порівняно зі сталлю 45	
				стандартиза ція	Стандартиза ція, мікрохвильо ве гартування
1	45 сталь (стандартна)	37,56	60×10^3	100,0	5.8
2	45 сталь (нормалізована + загартована в мікрохвильовій печі)	2.85	–	1745.0	100,0
3	Зварювання, точіння, мікрохвильове гартування, шліфування	2.36	–	1590,0	91.1
4	Загартування,	2.35	–	1596.0	91.2

нормалізація, точіння, мікрохвильове гартування, шліфування				
---	--	--	--	--

Підсумовуючи, результати випробувань на знос у лабораторії показують, що металеві шари, зварені під тиском рідини дротом Nr-30ХГСА, демонструють високу зносостійкість, навіть за значно нижчої твердості (порівняно із загартованою сталлю 45) наплавленого металу.

Це пов'язано зі збільшенням вмісту певних легуючих елементів (Mn, Cr) у наплавленому шарі. Нормалізація наплавленого металу дещо покращує показники зносостійкості (порівняно з нормалізованим шаром). Це покращення особливо помітне під час періоду припрацювання.

Результати випробувань дерев на втомну міцність показано на діаграмі (рис. 3.6), а дані зведено в таблицю 2.2.

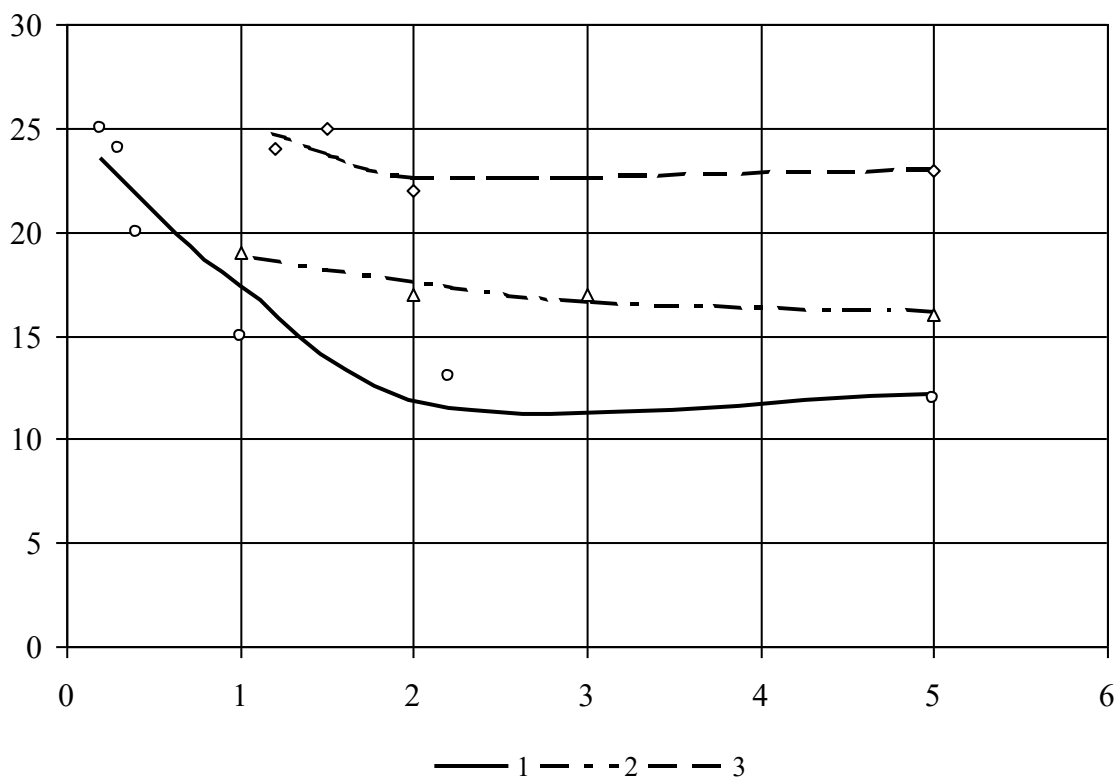


Рис. 2.6. Крива втоми для серії зразків:

- 1 – Стандартна сталь 45, $\sigma_{-1} = 110 \text{ кг / мм}^2$;
- 2 – зварені в мікрохвильовій печі та загартовані, $\sigma_{-1} = 150 \text{ кг / мм}^2$;
- 3 – зварені мікрохвильовим методом, нормалізовані та відпущені, $\sigma_{-1} = 210 \text{ кг / мм}^2$

Таблиця 2.2 – Результати випробувань дерев на втому

НІ.	технологія	Межа опору	
		(кг/мм ²)	(%)
1	Сталь 45. Стандартизація	11.0	100
2	Зварювання, точіння, мікрохвильове гартування, шліфування	15.0	136
3	Загартування, нормалізація, точіння, мікрохвильове гартування, шліфування	21.0	191

Результати випробування на втому дозволяють зробити такі висновки та рекомендації:

1. Зразки, наплавлені за описаним методом та оброблені в оригінальній технологічній послідовності (без нормалізації після наплавлення), демонструють на 36% вищу міцність на розрив порівняно з нормалізованою сталлю 45. Це пояснюється підвищеною механічною міцністю наплавленого зразка, поверхневий шар якого демонструє вищі характеристики міцності (особливо вищу ударну в'язкість) порівняно зі сталлю 45.

2. Ще більше збільшення міцності на втому (приблизно 91%) досягається зі стандартизованими зразками після зварювання.

Стегна, які пройшли кілька циклів ремонту та де всі ремонтні розміри були вичерпані, мають скорочений термін служби (до 50% від терміну служби нового кульшового суглоба).

Обмеження терміну служби, зумовлене зварюванням вальцьових з'єднань з новітніми ремонтними розмірами з використанням дроту НП-30ХГСА та флюсу АН-348А, суттєво не зменшується, але й суттєво не збільшується [20,21].

3. Застосування електрометалізаційного методу газотерапії для ремонту з'єднувальної пластини колінчастого вала двигуна ЯМЗ-240

3.1 Електролітична обробка як метод ремонту колінчастих валів

Конструктивні особливості та технічні вимоги до відремontованого компонента детально описані в додатках А та Б. Серед численних методів ремонту зношених поршневих пальців, що використовуються в промисловій ремонтній практиці, найпоширенішим було зварювання під флюсом. Його поступово замінило дугове зварювання порошковою фарбою, оскільки компонент був менш схильний до перегріву, а твердість шва можна було регулювати в широких межах залежно від складу флюсу.

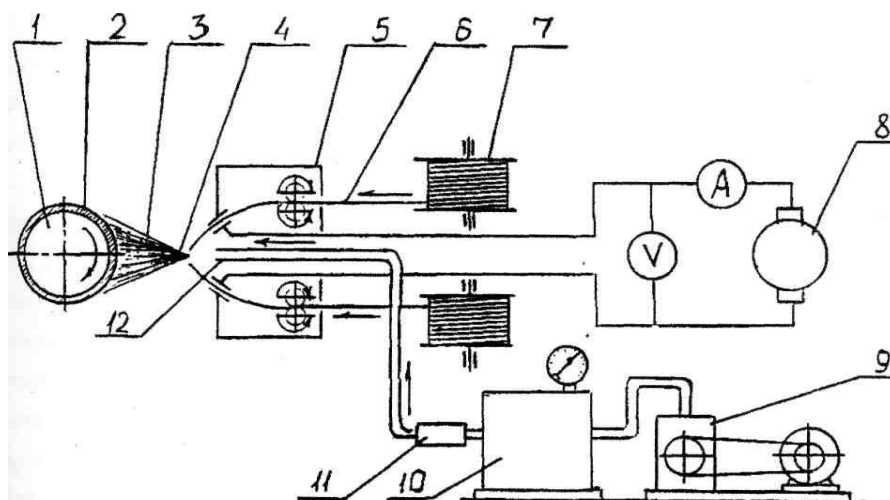


Рис. 3.1 – Схема дугової металізації

1. Відремontована деталь; 2. Зварювальний шар; 3. Повітряний струмінь; 4. Електрична дуга; 5. Металізуюча головка подачі; 6. Електродний дріт; 7. Котушки; 8. Генератор; 9. Компресор; 10. Бак; 11. Сушарка; 12. Подача стисненого повітря.

Одним із поширених сьогодні методів є електрохімічне зварювання смуги та зварювання ремонтних півкільць.

Усі описані вище методи підходять для капітального ремонту колінчастих валів карбюраторних двигунів. У дизельних двигунах навантаження на шийку колінчастого вала значно вище, що обмежує міцність вала. Термічні напруження

під час відновлення або зварювання призводять до ще більшої втрати міцності. Цих недоліків можна уникнути, проводячи капітальний ремонт компонентів за допомогою термічних процесів у газовій атмосфері.

При термічному напиленні матеріал плавиться в електричній дузі або газовому полум'ї, а потім розпилюється та наноситься на підготовлену холодну поверхню за допомогою газового струменя. Це створює шар із точно визначеними властивостями. Заготовку не можна нагрівати вище 200 °С.

Одним із найпростіших процесів термічної металізації є дугова металізація. У цьому процесі два струмопровідні дроти з'єднуються разом під напругою зварювання. Утворена електрична дуга плавить дроти. Стиснене повітря виштовхує частинки розплавленого металу на поверхню заготовки. Ці частинки прилипають до основи за допомогою механічного та, меншою мірою, металургійного з'єднання. Для забезпечення надійного з'єднання між покриттям та основою остання ретельно очищається та обробляється піскоструминним порошком корунду.

Метою цієї роботи є розробка технології відновлення колінчастих валів дизельних двигунів за допомогою дугової металізації. Перевагою цього процесу є те, що процеси дробоструминної обробки та металізації шийки можуть виконуватися в одній камері, на відміну від існуючих технологій, які потребують двох станцій.

Це скорочує час, необхідний для нанесення покриття, та покращує його якість, оскільки часовий інтервал між піскоструминною обробкою та металізацією значно скорочується.

Технологічний процес капітального ремонту колінчастого вала включає такі етапи:

- Вимийте деталь та очистіть мастильні канали;
- Попереднє шліфування деталі;
- Закрийте отвори для змащення з інтервалом 3 x 45 градусів та герметизуйте їх термостійкими гумовими заглушками;
- Покриття неметалізованих деталей силікатним клеєм;

- Вирівнювання поверхонь за необхідними розмірами (див. Додаток D);

Вартість ендопротезування кульшового суглоба становить від 50 до 60% від вартості нового протеза, а термін його служби аналогічний терміну служби нового протеза.

3.2 Сучасні проблеми, пов'язані з проекцією дуги

Нанесення покриттів на поверхні компонентів є економічним методом досягнення бажаних властивостей (зносостійкість, корозійна стійкість тощо) або для відновлення компонентів з одночасним заощадженням енергії та матеріальних ресурсів. Технології газотермічного покриття, такі як полум'яне напилення, дугове напилення та плазмове напилення, широко використовуються.

Важливо зазначити, що термічне напилення покриттів газом використовується майже у всіх промислових секторах. Розробка обладнання та технологічних процесів базується на фундаментальних принципах перетворення енергії, ефективному використанні різних форм енергії, теплообміні та газодинаміці. Серед згаданих методів термічного напилення дугове напилення є найекономічнішим. Завдяки високій тепловій ефективності дугове напилення металів у 3-4 рази продуктивніше, ніж полум'яне напилення, та в 2-3 рази продуктивніше, ніж плазмове напилення, за тих самих енергоспоживань. Напилення ниткоподібних матеріалів у 8-10 разів економічніше, ніж порошкове напилення. Однак якість покриттів, отриманих за допомогою дугового процесу та традиційної технології, поступається плазмовим покриттям, особливо щодо адгезії до основи та щільності.

Крім того, дугове напилення характеризується більшим розсіюванням розпилених частинок, як з точки зору розподілу частинок за розмірами, так і недостатньої концентрації потоку частинок під час процесу напилення. Тому це дослідження, метою якого є покращення технологічних та якісних характеристик процесу дугового напилення при збереженні його економічної доцільності, є важливим.

3.3 Дослідження процесу дугового горіння в потоці продуктів згорання горючих газів з повітрям

Наразі існує кілька основних методів підвищення конкурентоспроможності дугової металізації порівняно з плазмовими процесами при осадженні електродних матеріалів (суцільних та порошкових дротів). Найважливішими з них є:

1. Метою впливу на газодинамічну взаємодію між потоком розпиленого газу та електричною дугою (зоною плавлення металу) є збільшення швидкості вильоту, тобто коефіцієнта використання матеріалу (КВМ). Цього можна досягти, використовуючи хімічну енергію палива для покращення енергетичних властивостей потоку розпиленого газу або використовуючи різні розпилені гази, регулюючи швидкість газу та об'ємний потік на виході з сопла, вибираючи швидкість подачі дроту та змінюючи конструктивні параметри, включаючи розташування дроту.

2. Керування тепловими процесами при дуговому напиленні. Основна увага приділяється передачі тепла від джерела електричної енергії до розпиленого матеріалу, зберігаючи при цьому теплоємність частинок до утворення покриття. Це досягається шляхом модифікації конструкції розпилювача (зазвичай шляхом вибору кута нахилу електрода, який визначає стабільність горіння та напруженість електричного поля дуги) та оптимізації фізико-хімічних параметрів процесу напилення: теплової потужності, що виділяється в дузі, теплоємності та температури розпиленого газу, а також зменшення часу контакту частинок з навколишнім середовищем.

Аналіз функціональності сучасних атомізаторів та технологічних аспектів процесів атомізації свідчить про можливість модифікації конструкції для забезпечення стабільного горіння дуги.

Слід зазначити, що вплив стабільності дуги в газовому потоці ще недостатньо досліджений. Який вплив має зміна потужності процесу на структуру та якість покриття? Практично немає рекомендацій щодо викиду

високоенергетичних потоків продуктів згоряння горючих газів у повітря.

Для дослідження впливу стабільності дуги на термічне дугове напилення було розроблено металургійну модель. Один дріт проводився вздовж осі сопла, інший під точним кутом до отвору сопла. Стабільність дуги визначалася за допомогою осцилографа для вимірювання амплітуди коливань напруги дуги (ACV). Одночасно порошок, що утворювався під час напилення, збирався у воді, сушився та просіювався. Якість різання оцінювалася за двома показниками: розподілом розмірів частинок та середнім розміром частинок.

Експерименти показали, що швидкість центрального дроту впливає на швидкість потоку матеріалу фарбопульту під час напилення металу. Швидкість бічного дроту визначає середній розмір частинок та частку ACND (прискороного кольорового наноалмазу) під час процесу напилення. Порівняння цих двох показників показує, що швидкість бічного дроту є оптимальною.

Аналіз даних, наведених на рисунку, дозволяє визначити залежність значення AKND від розміру частинок при швидкостях дроту нижче оптимального значення. При швидкостях дроту вище оптимального значення значення AKND залишається майже незмінним, навіть зі збільшенням розміру частинок [11,17].

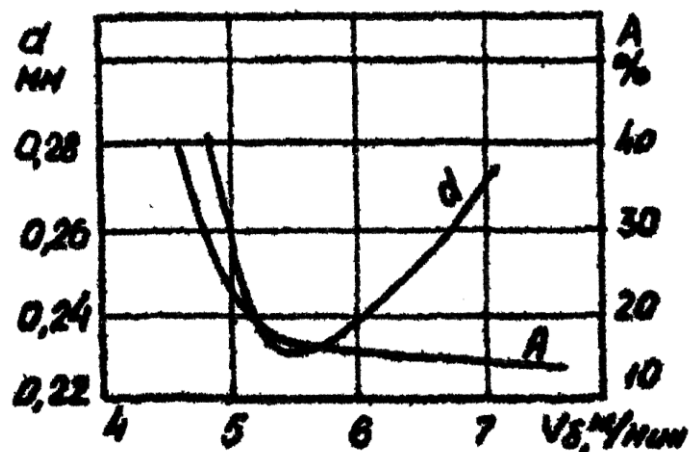


Рис. 3.2 Залежність розміру частинок (d) та ACND (A) від швидкості бічної подачі дроту

Фактично, потік газу стабілізує дугу та уповільнює плавлення металу. Це призводить до розподілу металу периферійними струмами газового струменя. Такий зв'язок дозволяє швидко вибрати оптимальну швидкість бокового дроту,

вручну або автоматично. Для цього потрібно почати зі значно нижчої швидкості, ніж оптимальна, потім поступово збільшувати її та контролювати амплітуду. Оптимальна швидкість досягається, коли амплітуда стабілізується.

Для визначення оптимального кута подачі дроту було проведено серію випробувань, у яких цей кут змінювався в межах від 20° до 90°. Відстань між ріжучим соплом і точкою плавлення дроту залишалася постійною. Результати показали, що оптимальним є кут подачі дроту від 44° до 48°. Цей кут забезпечує найкращі умови для рівномірного розподілу металу і таким чином зменшує утворення грубих частинок.

Усі наступні експерименти проводилися з бічним дротом, що подавався під кутом 45°. Дослідження залежності параметрів енергії розпилення показало, що швидкість подачі центрального дроту практично не залежить від напруги і залежить лише від струму. Ці два параметри необхідно враховувати при виборі швидкості подачі бічного дроту. Формула для розрахунку швидкості подачі необробленого бічного дроту наведена в [20,21].

$$V_o = (7 \cdot I_d + 15 \cdot \sqrt{I_d}) / (10 \times d_{др}) \cdot 2 \quad (4.1)$$

де I_d позначає струм дуги в амперах, а $d_{др}$ – діаметр дроту в міліметрах.

Використовуючи цю формулу та враховуючи специфічні модифікації ACND, режими розпилення можна визначити швидко та точно.

Проекційні випробування з різними енергетичними режимами показали, що адгезія покриття до підкладки залежить від обраного режиму. Однак, стверджувати, що потужність дуги впливає на якість покриття, неправильно. Наприклад, при $N_b = 12,1$ кВт сила становить 22 МПа, при режимі $I_d = 330$ А - 275 МПа, а при режимі $I_d = 330$ А - 36 В. Проведені експерименти дозволили визначити характер впливу кожного енергетичного параметра на адгезію покриття до підкладки (рис. 4.2).

Було показано, що середній розмір частинок залежить від заданих

параметрів і демонструє подібну поведінку. Дані з літератури не пояснюють такої залежності розпилення від енергетичних параметрів. Тому були проведені подальші дослідження взаємодії потоку розпилювального газу з дугою, довжина якої, як передбачає теорія зварювання, змінюється з енергетичними параметрами.

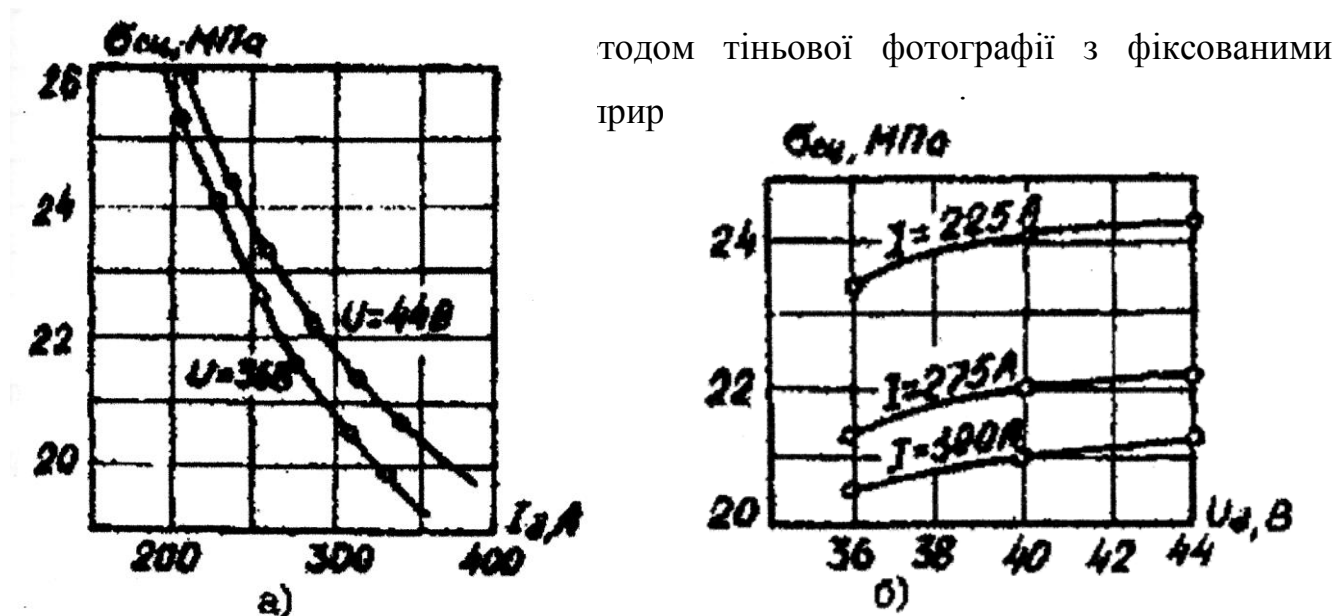


Рис. 3.2 – Залежність сили адгезії покриття до підкладки від струму дуги (а) та напруги (б). [15, с. 12]

Цей останній пункт цікавий, оскільки він показує, що використання газоповітряних сумішей з низьким вмістом метану (нижче 40%) зменшує адгезію порівняно з напиленням повітрям. Одночасно контролювався розподіл частинок за розміром для оптимізації адгезії покриття до основи. Наведені в таблиці дані ілюструють залежність цих показників від довжини дуги між електродами.

Таблиця 3.1 – Порівняння властивостей електричної дуги та захисного екрану в газоповітряній суміші та в повітрі під час різних процесів напилення.

CH ₄ у суміші, % об.	Струм дуги, А	НАПРУГА Боу, В.	відстань дуга, мм	Середній міра частинки,	Насильство Зчеплення, МПа
0	225	36	3.0	137,6	23,5
0	250	44	3.0	138,0	23.6
0	250	36	2.8	129,5	22.3
10	225	36	2.8	130,0	22.4

Незалежно від причини скорочення дуги (чи то збільшення струму, чи то суміш металів), вкрай важливо, щоб змінилися умови потоку газу навколо дуги.

Умови взаємодії між потоком газу та дугою можна оцінити на основі динамічних змін тиску вздовж осі потоку. Аналіз кривих зміни динамічного тиску показує, що зі зменшенням довжини дуги максимальний протитиск збільшується, а час впливу розплавленого металу стає довшим. Це пояснює збільшення дисперсії частинок при зменшенні довжин дуги. Щоб зменшити розмір частинок (який також залежить від шорсткості та однорідності покриття), довжину дуги слід зменшити. Оскільки струм дуги визначає потужність проектування, його зменшення необхідно досягти шляхом зниження напруги. Очевидно, що зниження напруги має межі (для дроту 12x18 H10T, $U = 36$ В). Подальше зниження напруги призводить до зниження стабільності проєктованих дротів через нерівномірний розподіл живлення, що систематично відбувається під час роботи механізмів подачі дроту.

Порівняння даних показує пряму пропорційну залежність між адгезійною міцністю покриття та первинним розміром частинок, що входять до складу цього покриття.

Щоб визначити причину цієї залежності, було досліджено стан частинок під час їх наближення до основи. Відомо, що кінетична енергія частинок та температура їх нагрівання є основними факторами, що впливають на адгезійну міцність.

Для покращення адгезії необхідно розпилювати на невеликій відстані від основи. Цей метод також підходить для об'ємних виробів. Як варіант, можна збільшити напругу або зменшити силу струму. Однак збільшення напруги дуги призводить до утворення високопористого покриття та збільшення споживання енергії, що перешкоджає розвитку ефективних процесів напилення.

Тому для металізації рекомендується використовувати високошвидкісний газовий струмінь з високою ентальпією. Доцільно використовувати дуговий металізатор з камерою згоряння природного газу та інтегрованою системою впуску повітря. Вибір діаметра сопла має вирішальне значення. Чим більший

діаметр, тим вищий коефіцієнт теплопередачі металу, а також споживання газу. Зменшення діаметра знижує споживання газу, але це неекономічно, оскільки коефіцієнт теплопередачі металу зменшується під час металізації.

Експериментальні та аналітичні дослідження показали, що для дротів діаметром до 2 мм сопло повинно мати діаметр 8 мм. Кут розкриття потоку метал-газ тоді досягає 10-13°, що в 1,5-2 рази менше, ніж при використанні потоку газу з високою ентальпією в розпилювальних пристроях з орієнтацією дуги, перпендикулярною до осі потоку.

3.4 Результати дослідження

Експерименти, спрямовані на дослідження взаємозв'язку між ефективністю розпилення та адгезією покриття до основи під час розпилення стисненого повітря та продуктів згоряння за високої температури, дозволили нам зробити кілька висновків.

1. Напруга дуги, необхідна для стабільного розпилення металу продуктами згоряння, майже ідентична напрузі, необхідній для розпилення повітрям. Для порівняння: якщо дуга спрямована в напрямку потоку, це значення необхідно збільшити на 5-8 В.

2. При струмах від 320 до 330 А продуктивність розпилення продуктів згоряння дещо вища, ніж розпилення повітрям. Залежно від сили струму різниця становить 0,2 кг/год ($I_b = 300$ А) або 1,2 кг/год ($I_b = 200$ А).

3. Адгезія покриття до основи в 1,7–1,75 раза вища при розпиленні продуктами згоряння, ніж при розпиленні повітрям. Хоча це значення зменшується зі збільшенням потужності розпилення, у першому випадку коливання значно менше.

Як наслідок, адгезія покриттів, що досягається завдяки металізації на повітрі, є стабільно вищою. Особливістю горіння методом напилення є здатність контролювати окисно-відновний потенціал газового потоку.

Порівняльна характеристика ефективності процедур відновлення для розглянутих компонентів представлена в Додатку Б.

Результатом дослідження стала технологічна процедура відновлення робочих поверхонь колінчастого вала двигуна ЯМЗ-238, яка була виконана згідно з [6-9,11-13] та представлена в технологічній документації в додатку D.

4. ЕКОЛОГІЧНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ

4.1 Екологічна компетентність та її завдання

Використання нових будівельних матеріалів, фарб та покриттів є наслідком виробничих процесів. Хоча вони можуть становити екологічні ризики у своєму сирому стані, їхнє природне старіння, механічна деградація та взаємодія з різними речовинами, сумішами та сполуками можуть негативно впливати на флору та фауну. В останні роки глобальний інтерес до захисту навколишнього середовища зріс, і оцінки впливу на навколишнє середовище, як правило, проводяться для всіх нових будівельних проектів та технологічних розробок [14,16].

Охорона навколишнього середовища, зокрема раціональне використання ресурсів та запобігання забрудненню, є однією з найактуальніших проблем сучасності та набуває дедалі більшого екологічного та соціального значення. З огляду на швидкі темпи технологічного прогресу та виникнення шкідливих змін у навколишньому середовищі, ці питання стають дедалі актуальнішими в останні роки. Отже, охорона навколишнього середовища також набуває дедалі більшого значення в секторі ремонту та технічного обслуговування.

Використання оцінки впливу на навколишнє середовище в інженерних проектах розпочалося у Великій Британії в 1960-х роках. У Німеччині закон, що зобов'язує проводити оцінку впливу на навколишнє середовище, було прийнято в 1990 році. Закон України "Про охорону навколишнього середовища" 1991 року та Закон України "Про оцінку впливу на навколишнє середовище" 1995 року вимагають проведення оцінки впливу на навколишнє середовище для планування та експлуатації сільськогосподарських підприємств, окремих фермерських господарств, а також для всіх нових технологій та оптимізаційних ініціатив, пов'язаних з механізацією сільськогосподарської техніки будь-якого виду. Зобов'язання звітувати про викиди забруднюючих речовин в повітря також впливає із зобов'язань, взятих Україною після підписання Конвенції про трансграничне забруднення повітря на великі відстані.

Слід зазначити, що згідно із законом України «Про оцінку впливу на довкілля», будь-яке технологічне рішення заборонено, доки не буде доведено його екологічну сумісність; тобто цей закон має заборонний характер.

В умовах сучасного виробництва екологічну компетентність можна підвищити шляхом видачі екологічного паспорта. Ідея екологічного паспорта виникла в Сибірському відділенні Академії наук Радянський Союз проаналізував проблему озера Байкал. Сучасний екологічний паспорт – це документ, який окреслює вплив сільськогосподарського підприємства або району на навколишнє середовище. Він включає детальний опис виробничих процесів, розкриття потоків матеріалів та споживання енергії, перелік використаних ресурсів (за кількістю та типом), детальний опис усіх виробничих викидів та відходів, включаючи їх токсичність, опис виробленої продукції та оцінку її потенційного впливу на навколишнє середовище. Екологічний паспорт містить рекомендації щодо

оптимізації виробництва та окреслює характеристики існуючої організації екологічного контролю. Ці документи також можуть бути видані як звіт про оцінку впливу на навколишнє середовище замість екологічного паспорту.

Метод матеріального балансу, розроблений П. Бертоксом та Д. Раддом (1980), дає чудові результати в аналізі впливу виробничих процесів на навколишнє середовище. Цей метод аналізує перетворення всіх матеріалів, що беруть участь у виробництві, крок за кроком, від сировини до готового продукту. Він дозволяє визначити тип та ступінь впливу на навколишнє середовище на кожному етапі виробництва, а також виявити можливості для його зменшення. Крім того, він забезпечує об'єктивне уявлення про виробничий процес.

Метою оцінки впливу на навколишнє середовище та екологічних паспортів є зменшення шкоди для навколишнього середовища, спричиненої діяльністю людини, та висвітлення екологічних імперативів, а саме системи заборон на технологічні рішення в галузі механізації сільського господарства, якщо ці рішення не гарантують захисту здоров'я людини та збереження навколишнього природного середовища.

Необхідність вирішення екологічних проблем та проблем якості життя призвела до появи екоіндустрії. Цей сектор виробляє пристрої та системи для нейтралізації шкідливих речовин та їх виявлення в повітрі, воді та ґрунті. Перша міжнародна екологічна виставка, в якій взяли участь представники 64 країн, відбулася у Ванкувері, Канада, у 1990 році. Асортимент продукції на екологічному ринку постійно розширюється: від систем пиловловлення та очищення газів до систем для подальшого очищення вихлопних газів та відходів тощо. Окремий сегмент ринку складають пристрої та системи для моніторингу навколишнього середовища на місці та дистанційно. Ринок екоіндустрії та екологічно чистих технологій наразі дуже великий. Тому важливо зосередити дослідницькі зусилля в цій галузі.

Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» 1995 року зобов'язує проводити оцінку впливу на довкілля для сільськогосподарських підприємств, незалежно від того, чи перебувають вони на стадії планування, чи вже працюють. Сільськогосподарські підприємства, а також усі нові технологічні та раціоналізаторські ініціативи у сфері сільськогосподарської механізації та обладнання будь-якого виду також підлягають цій оцінці.

4.2 Екологічна експертиза щодо забруднення повітря, спричиненого забруднювачами

Робота різних двигунів сільськогосподарських транспортних засобів та техніки генерує значну кількість забруднюючих речовин у повітрі. Ці забруднювачі становлять від 44 до 60% усіх атмосферних викидів. Забруднення повітря призводить до погіршення умов життя, парникового ефекту, кислотних дощів та інших екологічних проблем. Метою цього заключного проекту є пошук технологічних рішень для зменшення шкідливих викидів від усіх типів транспортних засобів та сільськогосподарської техніки.

Найважливішими забруднювачами повітря є чадний газ (CO), який у середньому становить 48,5% глобального забруднення повітря, оксиди азоту

(15%), оксиди сірки (14,9%) та вуглеводні (8%).

Для припаркованих та відремонтованих транспортних засобів шкідливі викиди працюючих двигунів розраховуються за такими формулами:

для автомобілів:

$$G' = 15(0,6 + 0,8 \cdot B) \frac{P_j}{100} \cdot \frac{T}{60}$$

Або

В- Об'єм двигуна в літрах;

пiжами- Масова частка речовини у відсотках, як зазначено в таблиці 1;

Т- Час роботи двигуна в хвиликах.

Розрахунки виконуються окремо для кожного забруднюючого речовини, в першу чергу для чадного газу, вуглеводнів та оксидів азоту. Згодом викиди всіх забруднюючих речовин агрегуються та аналізуються як окремо, так і в сукупності. Для цього використовуються дані з таблиці 3.1, де наведено гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин у повітрі.

Слід пам'ятати, що найбільші викиди шкідливих речовин від транспортних засобів усіх видів відбуваються вранці, коли транспортні засоби вирушають на роботу.

Таблиця 4.1 – Значення P_j для різних типів двигунів

Тип двигуна	Масовий вміст забруднюючих речовин, %		
	вуглекислий газ	вуглеводень	Оксиди азоту
карбюратор	6/4	-	-
олія	0,07/0,05	0,007/0,009	0,05/0,035

примітка Чисельник вказує час попереднього прогріву двигуна, знаменник – час, необхідний для подорожі до пункту призначення або з нього.

Важливо зазначити, що кількість забруднюючих речовин, що викидаються в повітря двигуном, залежить від налаштування карбюратора (рисунок 4.1). Надлишок палива призводить до збільшення викидів чадного газу та вуглеводнів. Викиди оксиду азоту досягають свого максимуму при співвідношенні повітря-паливо приблизно 14. Надлишок повітря покращує згоряння та зменшує викиди забруднюючих речовин.

Важливо зазначити, що викиди змінюються залежно від режиму роботи двигуна. Наприклад, такі викиди чадного газу (у відсотках) такі:

- з рівнем безробіття від 2,5 до 3,0%
- Прискорення 2,0 – 5,0%
- з рівномірним рухом від 0,5 до 1,0%

- Гальмування до 4,0%

$$G' = 15 \times (0,6 + 0,8 \times 6) \frac{6}{100} \times \frac{5}{60} = 0,405-$$

$$G' = 15 \times (0,6 + 0,8 \times 6) \frac{6}{100} \times \frac{10}{60} = 0,81-$$

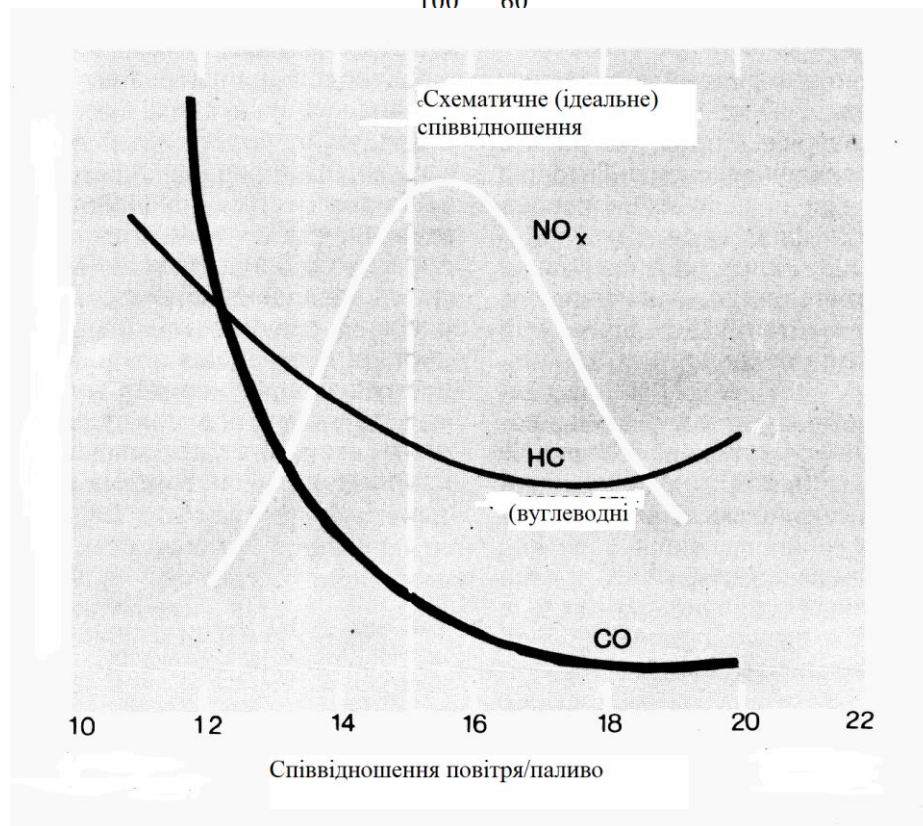


Рис 4.1 - Діаграма, що показує залежність кількості забруднюючих речовин у вихлопних газах двигуна внутрішнього згорання від співвідношення повітря-паливо.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) встановлено для 1510 забруднювачів повітря. ГДК для найважливіших забруднювачів наведено в таблиці 5.2.

Ця умова має бути виконана для всіх забруднювачів.

$$\frac{C_j}{\text{ГДК}_j} \leq 1,$$

Або

Сіджей - фактична концентрація забруднюючої речовини в мг/м³;

ГДК_j - допустима концентрація забруднюючої речовини в мг/м³.

Чадний газ $\frac{C_j}{20} \leq 10,405 \leq 1, 0,81 \leq 1$ - умова виконується.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації (ГДК) найважливіших забруднюючих речовин у повітрі міських районів та робочих місць (у мг/м³)

речовини	Середньодобова ГДК у мг/м ³	
	У населених пунктах	У робочій зоні

Діоксид азоту	0,04 – 0,085	-
Оксиди азоту	0,06	-
аміак	0,004	20
ацетон	0,85	-
Бензопірин	0,000001	-
бензол	1.5	-
сажа	0,35	-
путівник	0,0003	0,01
Діоксид сірки	0,05	10
Чадний газ	3.0	20
озон	0,03	0,16
мінеральна пудра	0,15	0,5
Пшеничний пил	0,03	0,2
Цементний пил	0,1	0,3
фенол	0,003	0,01

Для запобігання забрудненню повітря вживаються різні заходи:

- Паливно-мастильні матеріали необхідно зберігати в закритих охолоджувальних резервуарах, для заправки транспортних засобів використовувати багаторазове обладнання, а використані паливно-мастильні матеріали – у спеціальних контейнерах.
- Кількість вихлопних газів, що викидаються в атмосферу, можна зменшити, правильно налаштувавши паливну систему та систему запалювання. Хімічний склад вихлопних газів контролюється за допомогою газоаналізатора. Сучасні вихлопні системи автомобілів також оснащені каталітичними нейтралізаторами, які перетворюють вихлопні гази на воду, кисень та інші нешкідливі компоненти.
- У фарбувальних камерах використовуються спеціальні рециркуляційні фільтри, куди осідають дрібно подрібнена фарба та захисні водяні завіси.

Якщо запропоноване технологічне рішення щодо механізації сільського господарства призводить до різних видів забруднення повітря та внесення шкідливих речовин, проект повинен включати методи поглинання шкідливих речовин, таких як пил, включаючи сепаратори та фільтри інертних газів (циклони, електрофільтри тощо). Для поглинання шкідливих газоподібних речовин будуть використовуватися пристрої, що працюють за принципом хемосорбції, такі як абсорбери. Для зменшення викидів забруднюючих речовин від автотранспорту проект повинен запропонувати відповідні рішення: модифікацію складу палива,

використання добавок, що значно зменшують викиди забруднюючих речовин, переведення транспортних засобів на зріджений природний газ (що зменшує викиди чадного газу в три-чотири рази), та нейтралізація вихлопних газів тощо.

4.3 Захист та ефективне використання водних ресурсів

Вода є одним із найважливіших і найчастіше використовуваних ресурсів у ремонтному виробництві, а також у багатьох інших галузях промисловості. Розподіл води в цеху здійснюється через централізовану систему, яка забезпечує як технологічну, так і технічну воду. Технологічна вода включає:

1. Вода для гігієнічних цілей;
2. Питна вода.

Технічні вимоги включають:

1. Вода для миття та прибирання;
2. Вода, що використовується у загартовувальних ваннах;
3. Каустична сода служить охолоджуючою рідиною для водних емульсій у верстатах, оскільки ці емульсії з часом забруднюються маслянистими залишками, які завжди присутні на поверхні заготовок. Суміш використовується в рівних частинах зі свіжоприготовленою водою, до якої додаються емульгатори для забезпечення стабільності емульсії.

Після безперервного очищення МУ-2 та МПЗ-1 промивні розчини використовуються повторно, різні промивні розчини також оновлюються, а відкладення та продукти фільтрації видаляються.

Стічні води містять паливо та мастила, що утворюють масляну плівку, деякі з яких частково розчиняються у воді. Більшість забруднюючих речовин у системі осідають у вигляді важких частинок; тому ці стічні води збираються у відстійниках. Згодом усі стічні води очищуються на очисних спорудах.

4.4 Ключові заходи щодо захисту довкілля

З огляду на фактори забруднення навколишнього середовища, в автомайстерні необхідно впровадити такі заходи:

- Безперервне використання технологій автомийок, їх систем, компонентів та деталей у замкнутому циклі;
- Систематично контролювати, очищувати та підтримувати у належному стані систему фільтрації та відстійники для очищення використаних мийних розчинів перед їх скиданням у відповідні системи стічних вод;
- Робочі місця для зварювання та нанесення покриттів на деталі повинні бути обладнані системою витяжки з фільтрами та сепараторами;
- Робоче місце повинно бути обладнане фільтрувальним ковпаком для виробництва електролітів для гальваніки та локального видалення заліза, а система утилізації електролітів повинна включати резервуари для нейтралізації;
- Після хімічної нейтралізації, видалення розплавлених солей та інших

- відходів;
- Інгібітори іржі, а також видалені фарби та лаки необхідно збирати у спеціальні контейнери, а потім нейтралізувати та утилізувати у відведених для цього місцях.
 - Відпрацьовані електроліти з акумуляторів зливаються у скляні контейнери для відстоювання. Після сортування осад хімічно нейтралізується для утилізації.
 - Під час відновлення деталей, що містять полімерні матеріали, необхідно проводити точні розрахунки витрати компонентів для мінімізації відходів, а відходи полімерних матеріалів утилізувати в окремих контейнерах;
 - Фарбування транспортних засобів, їх деталей та вузлів необхідно проводити у спеціальних приміщеннях, обладнаних водяними завісами та витяжною вентиляцією з брудовловлювачами, а розчинники, фарби, лаки, ґрунтовки та герметики – у спеціальному витяжному кожусі;
 - в відновленні відпрацьованих масел шляхом їх відбору та направлення на нафтопереробні заводи для переробки;
 - Охолоджувальну рідину, гальмівну рідину та інші робочі рідини слід утилізувати лише після відстоювання та хімічної нейтралізації;
 - Випробування на обкатку та попередній прогрів двигуна повинні проводитися з використанням неетильованого бензину.

Після впровадження цих заходів, вони зменшать негативний вплив на навколишнє середовище виробничої діяльності, пов'язаної з технічним обслуговуванням та ремонтом транспортних засобів на підприємствах. Крім того, необхідно систематично контролювати хімічний склад стічних вод на робочих місцях та очищати вентиляційні системи. Нові технологічні процеси технічного обслуговування, ремонту, капітального ремонту та виробництва компонентів слід впроваджувати лише після ретельної оцінки впливу на навколишнє середовище.

5. ЗДОРОВ'Я ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЙНИХ РОБІТ

Проблема покращення умов праці безпосередньо пов'язана з гігієнічно-побутовими умовами, робочим часом та медичним обслуговуванням працівників, організацією перерв, харчуванням та іншими факторами.

Шкода, яку сьогодні завдають нещасні випадки та професійні захворювання на робочому місці, може бути усунена шляхом розробки спеціальних заходів щодо дотримання вимог трудового законодавства, спеціальних правових норм та інших положень, а також шляхом впровадження у виробництво новітніх наукових знань та передового досвіду в галузі охорони праці.

5.1 Структурно-функціональний аналіз технологічних процесів

Технологічний процес заміни деталей та агрегатів транспортного засобу під час ремонту включає такі етапи: Миття та очищення деталей, вузлів та кріпильних елементів; Допомога з доступом до деталей; Підготовка та встановлення технологічного обладнання; Виконання основних етапів заміни вузлів та агрегатів; Контроль технічного стану вузлів та деталей; Транспортування розібраних вузлів або деталей, що підлягають заміні.

Під час виконання вищеописаних робіт можуть виникнути такі небезпечні ситуації:

Під час очищення та розвантаження деталей, що підлягають обробці:

- Засоби для чищення або технологічні матеріали, що бризкають та потрапляють в обличчя;
- Руки та інші відкриті частини тіла;
- Займання мийних розчинів на основі легкозаймистих речовин або технологічних рідин;
- Забруднення робочого місця під час допоміжних робіт для доступу до вузлів та компонентів, що підлягають заміні;
- наявність сколів, зазубрин, гострих країв та дефектів на деталях;
- Падіння інструментів, деталей та вузлів;
- Клавіші зісковзують з граней куба.

Підготовка та встановлення технічного обладнання:

- Оберніть одяг навколо обертової частини пристрою;
- що одяг або частини тіла потрапляють у пристрої;
- Пристрої падають і вражають людей поблизу;
- Мобільні пристрої, що заважають працівникам або людям поблизу.

Виконайте основні кроки для заміни деталей та вузлів:

- наявність сколів, зазубрин та слідів стирання на компонентах;

Ключі з'являються на гранях куба:

- Запасні частини та вузли.

Під час технічного огляду деталей та вузлів:

- випадання з рук вимірювальних приладів та дефектоскопів;
- Неправильне використання інструментів та обладнання.

Під час транспортування розібраних вузлів та деталей:

- Деталі та вузли, що від'єднуються від пристрою;
- Розподіліть пристрій разом із компонентами, що транспортуються
- Мобільні пристрої, що заважають працівникам або людям поблизу;
- Мобільний пристрій стикається з іншим пристроєм.

На основі порівняння небезпечних умов експлуатації (НУЕ), небезпечних дій (НД) та небезпечних ситуацій (НС) створюємо модель процесу (рис. 6.1).

Рисунок 5.1 – Логіко-ймовірнісна модель процесу

5.3 Основні правові вимоги до охорони праці під час ремонту компонентів автотранспортних засобів та заходи щодо запобігання нещасним випадкам

Розібрані компоненти та деталі необхідно розміщувати на спеціально відведених полицях, столах та опорах, розташованих таким чином, щоб забезпечити безпечну робочу та рухливу зону. Верстаки, складальні столи, опори та інше обладнання повинні витримувати падіння, спричинені вагою ремонтного компонента та зусиллям, що прикладаються оператором. Їхні дерев'яні поверхні повинні бути покриті листовим металом. Якщо верстаки розташовані поблизу коридорів або сусідніх робочих місць, над робочою поверхнею необхідно встановити захисний бар'єр (наприклад, з дрібної дротяної сітки) висотою не менше 600 мм.

Одним із найнеприємніших етапів ремонту машин є очищення. Зазвичай це робиться за допомогою лужних, легкозаймистих та гарячих, швидковипаровуваних розчинів. Під час цієї роботи оператори повинні носити захисний одяг, захисні окуляри, рукавички та, за необхідності, респіратор. Відкриті ділянки шкіри необхідно попередньо обробити захисними пастами та кремами. У зоні очищення та на робочих місцях, де виконується ця робота, необхідно забезпечити належну вентиляцію. Особливу увагу слід приділяти зберіганню ганчірок для чищення та консервантів, що використовуються для очищення компонентів та видаляються з робочої зони. Їх необхідно зберігати в металевих контейнерах у місці, захищеному від сонячного світла, джерел тепла та іскор.

Наразі найбільше навантаження в ремонті припадає на розбирання та складання, які переважно виконуються вручну і значно рідше машинним способом. Тому належна організація робочого місця, бездоганний стан інструментів та використання механізованих методів розбирання та складання мають першорядне значення для безпеки праці. Під час розбирання та складання прес-з'єднань можна використовувати лише інструменти правильного розміру, спеціальні знімачі та інші допоміжні засоби, молотки, зубила, пробивні станки, коронкові свердла, напрямні, пристосування та інші інструменти в бездоганному робочому стані. Необхідно регулярно перевіряти цілісність ручок та відсутність тріщин на ударних та робочих поверхнях молотків, зубил, коронкових свердел та пристосувань. Під час роботи з металом необхідно стежити за тим, щоб напилки,

скребки, ручки пилок та подібні інструменти були надійно закріплені в дерев'яній ручці з металевим кільцем. Механічні роботи з ріжучими та шліфувальними дисками на пневматичних та електричних шпинделях необхідно проводити в захисному взутті, рукавичках та респіраторі.

Основні правила безпеки під час використання верстатів такі: під час токарної обробки не використовуйте зношені або дефектні прутки, не тримайте ріжучу кромку руками, не обробляйте довгі заготовки без стійкої опори, не працюйте без захисних пристроїв, не залишайте ключ у патроні, не очищайте заготовки вручну наждачним папером під час обертання патрона без спеціальних тримачів заготовок, не видаляйте стружку з працюючого верстата або голими руками, а також не здувайте її стисненим повітрям.

Під час свердління не тримайте заготовки голими руками, не закріплюйте їх на місці під час роботи та не зупиняйте шпиндель вручну. Під час використання шліфувальних та полірувальних машин уникайте ударів по диску, не використовуйте пошкоджений диск, не стійте перед диском під час роботи та не використовуйте машини без гідравлічного пиловловлювання, напрямної заготовки або прозорого захисного кожуха. Після заміни диска знову встановіть запобіжні пристрої, перевірте швидкість холостого ходу машини протягом трьох хвилин та за потреби вирівняйте диск.

Під час електрозварювання переконайтеся, що обладнання належним чином заземлено. Не пошкоджуйте ізольовані електричні кабелі. Зварювання заборонено на відстані ближче 5 метрів від легкозаймистих матеріалів або предметів. Поводження з ємностями з паливом або мастильними матеріалами є особливо небезпечним; ці ємності необхідно промивати розчином гідроксиду натрію, очищати гарячою парою або піддавати впливу вихлопних газів протягом щонайменше трьох годин. Під час зварювання тримайте зварювальний шланг відкритим. Вогнегасники та засоби захисту від дугового спалаху повинні бути легкодоступними поблизу зони зварювання.

Підприємства повинні мати добре укомплектовану аптечку першої допомоги, яка постійно поповнюється використаними ліками та витратними матеріалами; ліки, термін придатності яких минув, також слід замінювати.

На робочому місці слід постійно оновлювати візуальну інформацію з питань безпеки праці, підтримувати в актуальному стані документацію інформаційних заходів, проводити постійні обговорення з усіма працівниками, а також впроваджувати вимоги нового законодавства з охорони праці, гігієни праці, пожежної безпеки та операційної гігієни.

5.4 Вогнезахист

На робочому місці із заміни блоку циліндрів двигуна бензовозного автомобіля рекомендується встановлення системи протипожежного захисту, що включає необхідне обладнання та відро для піску. Майстерня повинна бути обладнана водопровідними кранами та шлангами, а також пожежними рукавами. Поруч має бути розташований контейнер з вогнегасником, доступний за будь-яких погодних

умов.

На робочому місці має бути встановлена система пожежної сигналізації. Майстерня повинна бути обладнана сигналізацією та телефоном для швидкого оповіщення пожежної служби. Транспортний засіб, припаркований на робочому місці, повинен мати функціонуючий причіпний пристрій з міцним, боковим буксирним гаком.

Для запобігання та швидкого гасіння пожеж необхідно забезпечити низку організаційних, технічних та протипожежних заходів, зокрема: а) навчання працівників цехів протипожежній охороні; б) дотримання правил протипожежної охорони; в) отримання знань з діяльності згідно з планом протипожежної охорони; г) систематичне оновлення та поповнення запасів вогнегасних речовин.

5.5 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення

Захист цивільного населення у разі загроз та надзвичайних ситуацій є одним із найважливіших завдань, що покладаються на службу охорони праці та ліквідації наслідків стихійних лих.

Захист населення спирається на впровадження системи заходів, що забезпечує застосування організаційних, епідемічних та інших заходів щодо запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, включаючи: а) розробку візуальних, методичних та інформаційних заходів; б) планування та проведення навчальних та практичних занять з надзвичайних ситуацій; в) ознайомлення всіх працівників з функціональними завданнями системи реагування на надзвичайні ситуації; г) ознайомлення всіх працівників із системою оповіщення про надзвичайні ситуації підприємства.

Для кожної потенційної надзвичайної ситуації розробляється план дій, що включає використання засобів індивідуального захисту, плани евакуації та шляхи евакуації з будівель та робочих місць, а також маршрути пересування та транспортування до безпечних зон. Спеціаліст з підготовки до стихійних лих виробничого підприємства, до якого входить ремонтна майстерня, повинен регулярно організовувати навчання та практичні заняття з працівниками для їхньої підготовки до надзвичайних ситуацій, що виникли внаслідок стихійних лих та техногенних катастроф. Також враховується потенційний вплив хімічних речовин та радіації.

6. Техніко-економічні зміни у прийнятих рішеннях

Розрахуємо вартість капітального ремонту колінчастого вала двигуна ЯМЗ-240 в умовах майстерні.

Вартість ремонту колінчастого вала в майстерні розраховується за такою формулою:

$$Sc = S_{vr.p} + S_{zch} + S_{rm} + S_{coop} + S_{zv}(6.1)$$

де С Загальна заробітна плата працівників, грн.;

З_з- Вартість запасних частин, грн.;

З_д- Вартість ремонтних матеріалів, грн.;

З_к- Витрати на ремонт кооперативного агрегату, грн.;

З_з- Загальні виробничі витрати, грн.

Загальна зарплата розраховується за такою формулою:

$$Z_{вр.п} = СВР + СД + ССОК(6.2)$$

Базова зарплата ремонтників двигунів, грн.;

З_д- додаткова заробітна плата, грн.;

З_с- Внески на соціальне страхування у гривнях;

Базова зарплата розраховується за такою формулою:

$$Свр = tврСгодКт(6.3)$$

Нормативна трудомісткість на капітальний ремонт колінчастого вала двигуна ЯМЗ-240, год;

З_о- Погодинна ставка робітника з ремонту колінчастого вала, грн.;

Д_т- Коефіцієнт, що враховує доплату за інші види робіт (К_т = 1,025...1,030)

$$Зв = 46,7 \cdot 8,5 \cdot 1,025 = 406,8.$$

Розрахуємо додаткову зарплату:

$$Sd = (0,07...0,1) \quad (6.4)$$

Стандартна плата= 34,58.

Соціальні внески:

$$C_{\text{соп}} = \frac{47,5(406,8 + 34,58)}{100} = 209,6 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{вр.п}} = 406,8 + 34,58 + 209,6 = 651.$$

$C = \frac{R_{\text{зв}} C_{\text{вр}}}{100}$, Виробничі накладні витрати розраховуються за такою формулою:

$$C = \frac{66,7 \times 406,8}{100} = 271,3 \text{ грн.}$$

Якщо припустити, що вартість запасних частин та ремонтних матеріалів відповідає фактичним середнім витратам, понесеним підприємством на 1 січня 2011 року, то вартість запасних частин для ремонту з трудомісткістю 46,7 годин становить 3180 грн, а вартість ремонтних матеріалів – 1320 грн.[14]

Таким чином, ціна ремонту в майстерні така:

$$C_{\text{ц}} = 651 + 3180 + 1320 + 0 + 271,3 = 5422,3 \text{ HRK.}$$

Формула для розрахунку загальної вартості операції на кульшовому суглобі виглядає наступним чином:

$$C_{\text{р}} = C_{\text{с}} + S_{\text{зг}} + S_{\text{нв}} \quad (6.6)$$

Накладні витрати, грн.,

$Z_{\text{н}}$ - Невиробничі витрати, грн.;

$$C_{\text{зг}} = \frac{C_{\text{вр}} R_{\text{зг}}}{100},$$

(6.7)

$R_{\text{зг}}$ – Відсоток накладних витрат;

$$C_{\text{зг}} = \frac{406,8 \times 12,5}{100} = 50,85 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{нв}} = \frac{(C_{\text{ц}} - C_{\text{зг}}) R_{\text{нв}}}{100}, \quad (6.8)$$

$$C_{\text{нв}} = \frac{(5422,3 + 50,85) \times 0,85}{100} = 43,8 \text{ грн.}$$

О - Відсоток непродуктивних накладних витрат;

$$Sp = 5422,3 + 50,85 + 43,8 = 5517.$$

Ми визначимо очікуваний економічний ефект від впровадження нових технологій.

Виходячи з цін виробників та постачальників запчастин, середня ціна нового колінчастого вала двигуна ЯМЗ-240 становить 22 000 гривень. Вартість відновлення колінчастого вала за нашою технологією становить 5 517 гривень. Таким чином, очікувані економічні вигоди від відновлення колінчастого вала становлять:

$$E = 22000 - 5517 = 16483 \text{ грн.}$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час експлуатації компоненти (з'єднання та деталі) машини піддаються руйнівним впливам та процесам, що призводять до погіршення їх функціональних властивостей та зміни їх технічного стану. Технічний стан машини відображає її здатність виконувати задані функції та оцінюється шляхом порівняння фактичних значень параметрів зі значеннями, зазначеними в технічній документації.

Руйнівні процеси пов'язані з режимом роботи машини, зовнішнім середовищем, типом матеріалу тощо. До найважливіших видів руйнівних процесів належать: тертя та знос деталі, пластична деформація, втома та корозія.

У реальних умовах експлуатації кріпильні елементи часто демонструють певний ступінь зносу. Руйнівні процеси, що діють на компонент, змінюють його розмір, форму та фізико-механічні властивості, спричиняючи різні дефекти, що призводять до несправностей у вузлах, агрегатах та машинах. Найбільш схильні до зносу такі поверхні: поверхні ковзання (25%), контактні поверхні (15%) та жорсткі монтажні поверхні (20%).

Після ознайомлення з технічною літературою з ремонту компонентів ми дійшли висновку, що Серед існуючих методів нанесення шару матеріалу на відновлені деталі окремої згадки заслуговує дугова металізація.

Серед процесів газотермічного напилення, дугове напилення є найекономічнішим. Завдяки високій тепловій ефективності, дугове напилення металів у 3-4 рази продуктивніше, ніж полум'яне напилення, і в 2-3 рази продуктивніше, ніж плазмове напилення, за тих самих енергоспоживань. Напилення матеріалів на основі дроту, з іншого боку, у 8-10 разів економічніше, ніж порошкове напилення.

Економічний ефект від впровадження технології ремонту компонента колінчастого вала «ЯМЗ-240» становить 16 483 гривні на один компонент.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С., Богдан Антошевський Триботехнологія деталей машин. Навчальний посібник.- Суми: Видавництво „МАКДЕН” 2010. – 264 с.:іл.
2. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун; Отв. Ред. И.М. Федорченко. АН УССР. Ин-т проблем материаловедения. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1990. – 264 с.
3. В.Я. Анілович, О.С. Грінченко, В.В. Карабін, В.Л. Литвиненко, В.О. Литвинов. Міцність та надійність машин. – Київ: Урожай, 1996. – 886 с.
4. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей.–М.: Колос, 1981.– 351 с.
5. Дипломне та курсове проектування /Д. Г. Войтюк, О. В. Дацишин, В. С. Колісник та ін.; За ред. О. В. Дацишина.–К.: Урожай, 1996.–192 с.
6. Практикум з ремонту машин /О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, А. Я. Поліський та ін.; За ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка.–К.: Урожай, 2002.–224 с.
7. Ремонт машин /Под. ред. Н. Ф. Тельнова.–М.: Агропромиздат, 1992.–560 с.
8. Реструктуризація матеріально-технічної бази агропромислового комплексу /П. Т.Саблук, В. Г. Більський, Г. М. Підлісецький та ін.; За ред. В. Г. Більського.–К.: Інститут аграрної економіки УААН, 1997.–296 с.
9. Форнальчук Є. Державна політика у сільському господарстві.// Техніка АПК.–2006.–№ 2.–с. 6–7.
- 10.Z.Ruzhilo, V. Bulgakov, I. Holovach, O. Trokhaniak, M.Budzanivskyi. Development of a method for carrying out a multi-factory experiment on cleaning root crops from soil and vegetable impurities. VIII International Scientific Conference “Conserving Soils and Water 2023” 06-09.09.2023, Varna, Bulgaria, Scientific technical union of mechanical engineering “INDUSTRY 4.0”.
- 11..Ruzhilo, V. Bulgakov, I. Holovach, O. Trokhaniak, M.Budzanivskyi. Experimental study of transportation of pool materials by a flexible sectional

- screw conveyor . VIII International Scientific Conference “Conserving Soils and Water 2023” 06-09.09.2023, Varna, Bulgaria, Scientific technical union of mechanical engineering “INDUSTRY 4.0”.
12. Черноиванов В. И., Андреев В. П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин.–К.:Колос, 1983.–288 с.
 13. А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, И.А. Буяновский. Трение и износ деталей машин // Справочник. Инженерный журнал. – 2003. – № 9. – С. 47 – 51.
 14. Зенкин Н.А., Копылов В.И. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий. – К.: Голов. спеціаліз. ред. літ. мовами нац. меншин України, 2002. – 272 с.
 15. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування і ремонту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016, Вип. 2. С. 223–231.
 16. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., ... & Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on harrington’s desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1 (3 (127)). - P. 3746. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13874>.
 17. Гідроприводи сільськогосподарських машин, Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К., 2006. 272 с.
 18. Кулінченко, В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : підручник / В. Р. Кулінченко. Київ: ІНКОС, Центр навчальної літератури, 2006. 616 с.
 19. Novytskyi, A., Melnyk, V., Banniy, O., Bystryi, V., Stetsiuk, S. (2024). Research on influence of geometric parameters of engine body parts during repair process. Engineering for Rural Development, pp. 811–816. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184886375&origin=resultlist>

20. Продеус О. В., Новицький А. В., Ружи́ло З. В. «Лідерство в сфері фільтрації» – ефективний напрям забезпечення надійності техніки. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 255–256.
21. Новицький А., Ружи́ло З., Карабиньош С., Новицький Ю. Повітряні фільтри для двигунів внутрішнього згорання та особливості їх обслуговування. *Agroexpert*. 2018. №1 (114). С. 64–67.
22. Liao, Minru; Sun, Naotian; Wang, Zehao; Xu, Xiaoyang; Qin, Cang. (2021). A new type of manganese dioxide car air conditioner filter element. [OP Conference Series: Earth and Environmental Science](#). Том 692, Випуск 325. 4-th International Conference on Energy Material, Chemical Engineering and Mining Engineering, DOI 10.1088/1755-1315/692/3/032122.
23. Vishal S. R., Prataprao K. O., Pravin N. A. and Rammohan A. Investigation of effect of air filter clogging on performance and emissions from engine. *International conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*. 2017. Vellore, India. pp. 1–6, DOI: 10.1109/ICMDCS.2017.8211699
24. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 264. С. 293–303.
25. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Котречко О. О. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 151–157.
26. Новицький А. В. Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 2022. Вип. 6(37), ч. I. С. 134–143.
27. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. (2021). Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*, 12 (2), pp. 39–47.

<https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.

28. Novitskyi A. V., Banniy, O. O, Novitskyi Yu. A., Antal, M. V. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14(4), 101–110. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184886375&origin=resultslist>
29. Ружи́ло З.В., Буткі́вський О.Л. Дефекти гі́льз ци́ліндрів дви́гунів ЯМЗ-240 // Матеріали наукової конференції студентів та аспірантів НУБіП України (березень 201 року). – К, 2016. – С47.
30. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 1. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання / А. В. Новицький [та ін.]. - К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. - 209 с
31. Надійність машин та обладнання: навчальний посібник. Ч. 2. Ремонт машин та відновлення деталей / З. В. Ружи́ло, Мельник В.І., Новицький А.В., [та ін.].- К. : Видавничий центр НУБіП України, 2023. - 310 с.
32. Часник К.Ю., Котенко Є.Ю, Демина Ю.Ю., Коноплянченко Є.В. Дослідження процесу зносу та обґрунтування технологічних рішень для відновлення поверхонь спряження деталей машин. // Матеріали VII Міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка в XXI сторіччі- Харків: ХНТУСГ. 2011. С.92
33. Часник К.Ю., Коноплянченко Є.В. Дослідження процесу зносу та обґрунтування технологічних рішень для впровадження нової технології ремонту колінчастих валів дизельних двигунів// Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ Т.ІІІ. – Суми, 2011.- С.98.
34. Ружи́ло З.В., Романенко Р.В. Основні вибраковочні дефекти колінчастих валів // Збірник праць студентів та аспірантів НУБіП України – К, 2025. – С.
35. ДНАОП 0.00-4.21-93 Типове положення про службу охорони праці.
36. ДНАОП 0.00-4.12-94 Типове положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці.
37. ДНАОП 0.00-8.02-93 Перелік робіт з підвищеною небезпекою.

- 38.ДНАОП 0.00-8.01-93 Перелік посад посадових осіб, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань охорони праці.
- 39.ДНАОП 0.03-4.02-94 Положення про медичний огляд працівників певних категорій.
- 40.ДНАОП 0.05-8.04-92 Про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці.
- 41.ДНАОП 0.00-4.07-93 Положення про державний, галузеві, регіональні фонди охорони праці та фонди охорони праці підприємств.
- 42.Типові галузеві норми безплатної видачі спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту робітникам і службовцям.
- 43.ДНАОП 0.00-4.03-93 Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах та організаціях.
- 44.Практикум по ремонту машин / О.І. Сідашенко. О.А.Науменко.; За ред. О.І. Сідашенка - Харків.: Прапор, 1992. 380 с.
45. Стандартизація та сертифікація обладнання лісового комплексу: Новицький А.В., Дев'ятко О.С., Адамчук О.В., Онищенко В.Б., Ревенко Ю.І., Денисенко М.І., Мельник В.І.навчальний посібник. Київ: НУБіП. 300 с.
46. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружило З. В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБіПУ, 2017. 221 с.
47. Новицький А. В., Банний О. О. Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів з досвіду зарубіжних компаній. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, p. 115-124.
48. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 264. С. 293–303.
49. Новицький А. В., Ружило З. В., Котречко О. О. Забезпечення надійності

сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 151–157.

50. Новицький А. В. Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 2022. Вип. 6(37), ч. I. С. 134–143.