

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів та транспортних технологій**

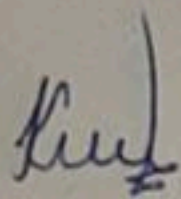
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня магістр

Галузь знань 27 - «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

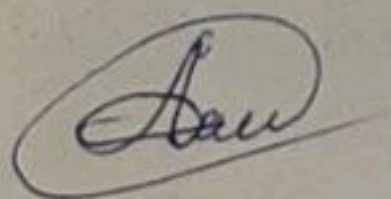
на тему: «Реновація та підвищення зносостійкості автомобільних деталей»

Виконав: студент групи ААГ - 20м



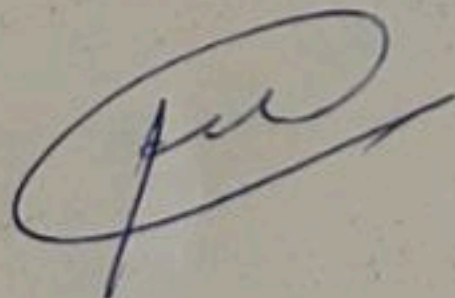
Віталій КУШПІЛЬ

Керівник



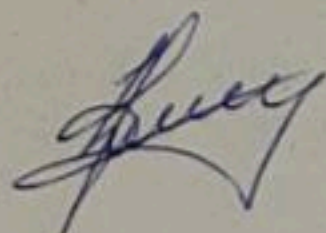
Олександр ПИЛИПЕНКО

Завідувач кафедри



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент



Михайло Бегерський

Житомир - 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: автомобілів та транспортних технологій

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 - Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ

Володимир ІШУМЛЯКІВСЬКИЙ

« » 2024р.

ЗАВДАННЯ

до магістерської роботи освітнього ступеня магістр

Кушпіля Віталія Сергійовича

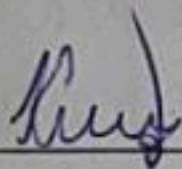
1. **Тема роботи:** «Реновація та підвищення зносостійкості автомобільних деталей» затверджена наказом вищого навчального закладу від «20» жовтня 2023р. №601-с
Керівник роботи: д.т.н., проф. Олександр ПИЛИПЕНКО
2. **Строк подання студентом завершеної роботи:** 02.04.2024 р.
3. **Вихідні дані до роботи:** нормативні документи, стандарти, статистичні дані.
4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** вступ, стан питання і завдання досліджень, теоретичне обґрунтування підвищення зносостійкості автомобільних деталей, методики та результати проведення експериментальних досліджень, список використаних джерел.
5. **Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) - 11 слайдів.**

Дата видачі завдання « 10 » вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

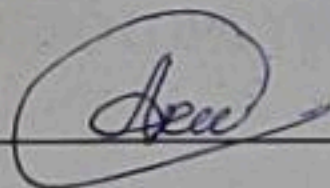
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Стан питання і завдання досліджень	01.03.2024	Виконав
2.	Теоретичне обґрунтування підвищення зносостійкості автомобільних деталей	10.03.2024	Виконав
3.	Методики та результати проведення експериментальних досліджень	20.03.2024	Виконав
4.	Оформлення роботи	24.03.2024	Виконав
5.	Рецензування	02.04.2024	Виконав
6.	Захист роботи	10-12.04.2024	Виконав

Студент



Віталій КУШПІЛЬ

Керівник роботи



Олександр ПИЛИПЕНКО

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ГАЗОПОЛУМЕНЯВОГО НАПИЛЕННЯ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ	8
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ (ВАЛ ТУРБИНИ ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВЗ) ДЛЯ РЕНОВАЦІЇ ТА ЗМІЦНЕННЯ.....	18
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕНОВАЦІЇ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛІ МЕТОДОМ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ	32
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ПІСЛЯ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ	41
РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ ДЛЯ РЕНОВАЦІЇ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВЗ Помилка! Закладку не визначено.	
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку техніки особливе значення приділяється підвищенню працездатності та довговічності деталей машин і особливо деталей вузлів, що працюють в умовах тертя при наявності високих відносних швидкостей і агресивних середовищ.

Проблема підвищення надійності в умовах інтенсифікації виробництва, енерго- і ресурсозбереження, ставить завдання створення нових технологічних процесів і застосування нових матеріалів. Але найчастіше найслабшим елементом у системі «матеріал – робоче середовище», що визначає умови експлуатації та ресурс системи механізмів, є поверхня матеріалу. Тому важливу роль відіграють покриття, що оберігають деталі від руйнівного впливу.

З усіх захисних покриттів на сталевих виробах, великий інтерес представляють біметали на основі сталь-алюміній. За різних механічних і експлуатаційних властивостей, зледенілі, в єдине ціле вони здатні успішно конкурувати з дорогими високолегованими сталями. Тим самим, багаторазово знизивши вартість виробів, без зниження якості виробу і терміну експлуатації.

Відомо багато способів формування захисних і зносостійких покриттів на сталях: рідкофазний, наплавлення, зварювання вибухом, газотермічна металізація, плакування. Провівши аналіз отримання біметалів, порівнявши всі показники та економічну ефективність було вирішено для формування захисних і зносостійких покриттів використовувати газополуменеве напилення. За такого способу досягається максимальна продуктивність, незалежно від складності поверхні. Установки для газополуменевого напилення досить мобільні, що дає змогу наносити покриття на готових конструкціях, поза цеховими умовами. Так само слід зазначити можливість отримання покриття різної товщини з широким спектром властивостей.

Однак істотним недоліком даного способу є низька міцність зчеплення покриття з основою, що викликано відсутністю адгезійного зв'язку, а також наявністю в покритті залишкових напружень, які утворюються під час напилення.

Проблема підвищення міцності зчеплення під час напилення покриттів газополуменевого напиленням ефективно розв'язується створенням на поверхні деталі складної структури, застосовуючи різні способи механічної та термічної обробки поверхні. А збільшенню сфери застосування біметалу сталь-алюміній сприяє подальший дифузійний відпал, який сприяє утворенню інтерметалідних шарів, що надають сталевим деталям унікальних властивостей корозійної стійкості, жаростійкості та зносостійкості.

Метою даної роботи є реновація та підвищення зносостійкості автомобільних деталей.

З урахуванням визначеної мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Аналітичний огляд існуючих методів газополуменевого напилення та їх результативність;
- 2) Вибір деталей типу тіл обертання двигуна внутрішнього згорання для реновації та зміцнення;
- 3) Розробка технологічного процесу реновації та зміцнення деталі методом газополуменевого напилення;
- 4) Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі після газополуменевого напилення;
- 5) Оцінка зносостійкості деталі після газополуменевого напилення.

Об'єктом дослідження є підвищення надійності валів ротора турбокомпресора двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) під час виконання ремонту методом газополуменевого напилювання.

Предметом дослідження є процеси нанесення зносостійких покриттів, що включають газополуменеве напилення.

Для реалізації поставлених завдань використовували комплекс методів дослідження фізико-механічних властивостей покриттів і методи металографічного аналізу для вивчення їхньої мікроструктури.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що отримано значення економічного показника надійності роторів турбокомпресора ДВЗ при їх відновленні з використанням газополуменового напилювання дослідженні розглянуто вплив попереднього підігріву на міцність зчеплення алюмінію зі сталлю; проведені дослідження процесів дифузійного відпалу сталі з алюмінієвим покриттям, нанесеним газополуменовим напиленням.

Практична значущість роботи полягає в тому, досліджено спосіб, схеми і технологію створення зносостійких покриттів нанесених газополуменим напиленням.

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Роботу виконано на 54 сторінці машинописного тексту, вона містить 16 рисунків, 8 таблиць, список використаних джерел із 43 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ГАЗОПОЛУМЕНЯВОГО НАПИЛЕННЯ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ

У процесі експлуатації автомобільної техніки, в переважній більшості випадків руйнуються тільки робочі поверхні деталей, які можна відновити і захистити від зносу нанесенням покриттів із матеріалів зі спеціальними властивостями [1-3]. Покриття багатофункціональні [4-5]: надають поверхні корозійної стійкості, зносостійкості, специфічних експлуатаційних властивостей (антифрикційних, фрикційних та інших). У вітчизняному машинобудуванні застосування деталей зі зносостійкими покриттями обмежене. Тому створення автомобільних деталей зі зносостійкими покриттями та заміна дорогих високолегованих сталей і сплавів на дешевші з підвищеною зносостійкістю – одне з актуальних завдань матеріалознавства, що розв'язувалося в даній роботі. Це завдання розв'язується шляхом нанесення на робочі поверхні деталей зносостійких покриттів за використання більш економічно доцільних як матеріалів, так і технологій їх нанесення та обробки [6]. За рахунок використання спеціальних матеріалів і формування на робочих поверхнях автомобільних деталей зносостійких покриттів можливо не тільки виготовляти та реставрувати деталі, а й зміцнювати їх [7]. При цьому, важливе значення має вибір матеріалів для зносостійких покриттів і способів їх нанесення. Вибір матеріалів для зносостійких покриттів визначається умовами експлуатації деталей і видами їхнього зносу [8].

Для зміцнення та відновлення деталей машин, що працюють в умовах абразивного зношування, широке застосування знаходить газополуменевий метод формування покриттів [9, 10], який полягає в нагріванні вихідного матеріалу до рідкого або пластичного стану та його розпилюванні газовим струменем (рис. 1.1).

Однак істотним недоліком газополуменевого напилення є виділення під час напилення продуктів згоряння органічного палива. Застосування різних горючих газів для заміни ацетилену в процесах газополуменевої обробки з кожним роком

набуває дедалі більшого поширення. Як замітники ацетилену широко використовуються різні горючі гази, зокрема й водень.

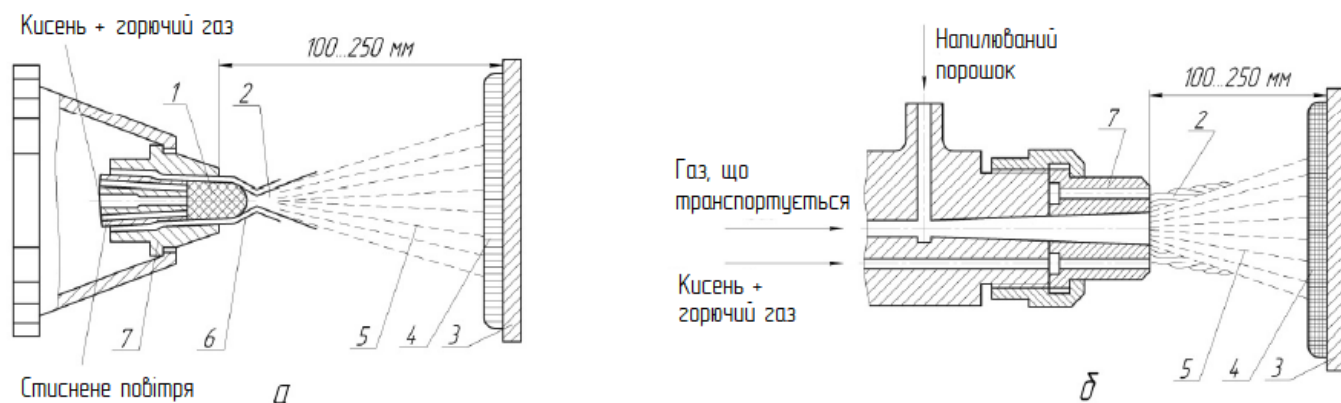


Рис. 1.1. Схема головок газополуменового напилення: а – дрітвяного, б – порошкового; 1 – дріт, 2 – газове полум'я, 3 – відновлена поверхня, 4 – шар, що наноситься, 5 – дисперговані частинки матеріалу, 6 – повітряний потік, 7 – сопло

Газополуменовий спосіб напилення є найстарішим з перерахованих, але досі не втратив своєї популярності через свою простоту. Для забезпечення роботи немає необхідності використовувати дорогі установки, необхідне тільки підведення суміші горючого газу і стисненого повітря. На відміну від інших способів він мобільний і має найвищі показники продуктивності та товщини покриття.

Газополуменове напилення – це процес нагріву металу, у вигляді дроту або порошку, до рідкого стану, і його перенесення струменем стисненого повітря на поверхню деталі. Матеріал, що напилюється, розплавляється в полум'ї газового пальника під час спалювання горючого газу (зазвичай це ацетиленова або пропанокиснева суміш). Перенесення розплавлених частинок здійснюється повітряним струменем високого тиску. Під час перенесення металу відбувається ударне зіткнення і деформація. Після чого частинки металу, що переносяться, приймають форму поверхні деталі і з'єднуються з нею [11].

Формування покриття послідовним напиленням розплавлених частинок, з високою швидкістю деформації та охолодження призводить до утворення між частинками, шарами, покриттям і підкладкою порожнин (рис. 1.2). Товщина покриття становить 1-2 мм. На поверхні металу, що захищається, утворюється

пористе покриття, пористість може бути відкритою або закритою (локалізованою) [12].

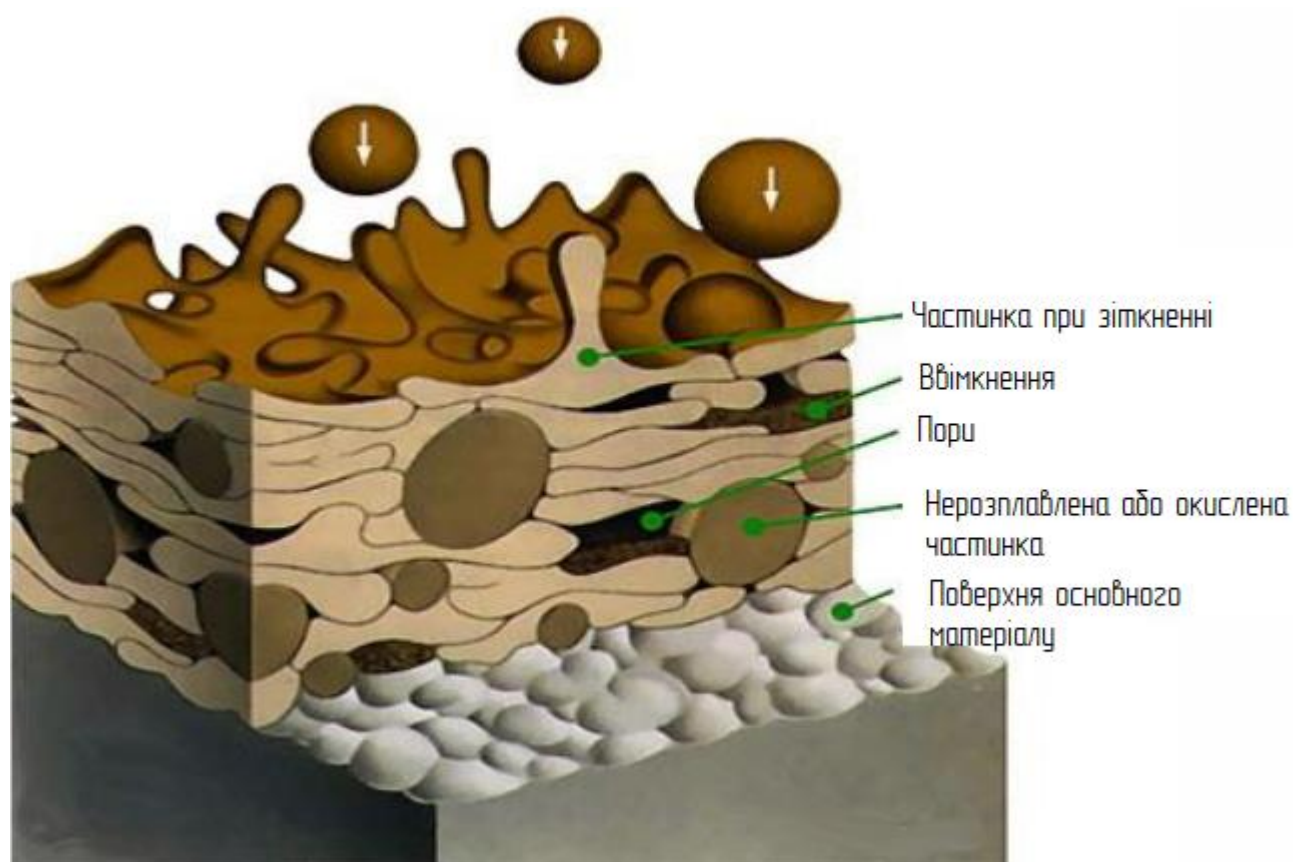


Рис. 1.2. Структура покриття отриманого газополуменевим напиленням

Відкрита пористість характеризується злиттям окремих пір, які пронизують усю товщину покриття, закрита пористість має замкнений характер, що не впливає на проникність покриття. Локалізація пористості досягається збільшенням товщини покриття. Зростання товщини покриття пов'язане зі збільшенням у ньому внутрішніх напружень і внаслідок цього зі збільшенням товщини покриття знижується адгезійна міцність зчеплення його з основою.

Газотермічне напилення найраціональніше застосовувати для нанесення захисних покриттів на великогабаритні вироби і конструкції в зібраному вигляді. Як матеріал покриття найчастіше застосовують цинк і алюміній, проте можна напилювати будь-які метали на підкладку з будь-якого матеріалу. Захисні властивості алюмінієвих покриттів, нанесених методом газотермічного напилення, визначаються

наявністю наскрізної пористості, адгезійною міцністю зчеплення з основою, видом і ступенем агресивності середовища і здатністю металу покриття утворювати в умовах експлуатації важко розчинні і щільні продукти корозії. У багатьох агресивних середовищах (наприклад, у морській воді) електрохімічний потенціал алюмінію більш електронегативний, ніж у сталі. Тому спочатку кородує покриття, його продукти корозії забивають пори і значною мірою уповільнюють корозійний процес [13].

Значна шорсткість і поверхнева пористість покриттів, нанесених методом газотермічного напилення, призводить до накопичення на його поверхні агресивних агентів, що сприяє прискоренню його руйнування. У зв'язку з цим такі покриття практично не застосовуються без додаткового просочення лакофарбовими матеріалами. Ці покриття забезпечують досить високу довговічність завдяки великій товщині і хорошій адгезії [14].

Кожен зі способів унікальний, і дає змогу вирішувати певні завдання в отриманні покриттів на деталях різних призначень. Наприклад, застосування плазмового та електродугового напилення дало змогу технологіям зробити крок далеко в перед, завдяки можливості отримання на багатьох матеріалах тонких чистих шарів. Широке застосування вони знайшли у виробництві дискретних напівпровідникових приладах, мікросхемах та іншій продукції електроніки, а також у космічній галузі. Так само даним способом можливо проводити модифікацію властивостей поверхні, використовуючи різні методи обробки [13].

Відомі методи газополуменевої обробки розраховані на застосування вуглецевмісних горючих газів, що забруднює навколишнє середовище продуктами згоряння, які, зокрема, погіршують властивості покриттів. Крім того, відомі пальники не дають змоги застосовувати як горючий газ воднево-кисневу суміш, оскільки вона створює окислювальне полум'я. Застосування у них як транспортувального газу воднево-кисневої суміші може призвести до зворотного удару в каналі для газопорошкової суміші.

Нині багатьма авторами проводяться науково-дослідні роботи з дослідження зносостійких покриттів, отриманих ГПН-матеріалів із застосуванням воднево-

кисневого полум'я [15-17]. При цьому результати аналізу цих досліджень підтверджують, що використання воднево-кисневої суміші з добавкою пропан-бутану для газополуменевого напилення дає змогу під час напилення отримувати високоякісний напилений шар, а застосування добавки пропан-бутану до воднево-кисневої суміші дає змогу підвищити мікротвердість покриттів, які наносяться, на 24 %, якщо порівнювати з покриттями, що отримують на чистій воднево-кисневій суміші, та на 49 %, якщо порівнювати з покриттями, що отримують на традиційній ацетилено-кисневій суміші. Структура покриттів, отриманих за різних горючих газів, практично однакова; відмінність полягає лише в кількості пор у поверхневих шарах.

Крім того, виробництву запропоновано технологію і пальник для газополуменевого напилення порошкових матеріалів, які дають змогу зменшити забруднення довкілля та шкідливих викидів в атмосферу, отриманням як продукту згоряння водяної пари за рахунок використання як пального та транспортувального газів екологічно чистої воднево-кисневої суміші, що виробляється електролізерами з води, запобігти утворенню зворотних ударів у пальнику по каналу втулки.

Виконані низкою дослідників роботи з вивчення працездатності деталей з покриттями переконливо показали [18-20], що основною причиною їхнього руйнування є недостатній зв'язок між матеріалом покриття та основи. Із зазначеної причини серйозним обмеженням на шляху ширшого застосування виробів, зміцнених покриттями, слід вважати міцність зчеплення. Проведеними дослідженнями було встановлено, що одним із найефективніших способів підготовки поверхонь деталей машин під газополуменеве напилення, що забезпечує значне підвищення міцності зчеплення покриття з підкладкою, є накочування на поверхні заготовки, яка відновлюється або зміцнюється, різблення із замковим профілем.

Різьба із замковим профілем – трикутна різьба, на вершині якої формуються напівгрибоподібні ділянки профілю, зміщені поперемінно в різні боки. Цей профіль виконує роль напіванкерного замка, на який механічно прикріплюється напилюване покриття. Поверхня деталі, що відновлюється або зміцнюється, попередньо

проточується на токарному верстаті за таких режимів різання, за яких забезпечується дроблення на поверхні, потім на ній нарізають «рване» різьблення з кутом на вершині $55-60^\circ$ і радіусом заокруглення $0,3-0,5$ мм (рис. 1.3).

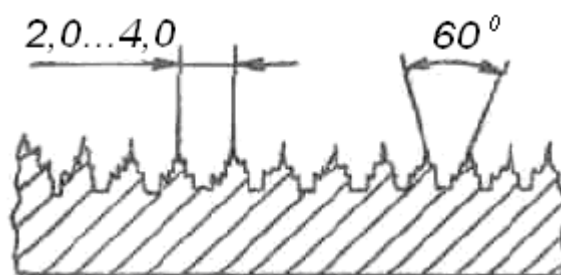


Рис. 1.3. Профіль «рваного» різьблення

Накочування замкового профілю здійснюють на попередньо нарізаній різьбі. Як інструмент використовують запатентовані профільні різьбонакатні ролики (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Профільні ролики для накочування замкового профілю

У результаті було вирішено актуальну задачу підвищення міцності зчеплення покриттів з основою під час газополуменевого напилення порошкових матеріалів удосконаленням технології підготовки поверхні шляхом накочування замкового профілю на попередньо нарізаному різьбленні.

На основі розробленого способу, оснащення та інструменту для здійснення запропонованої технології досягнуто підвищення міцності зчеплення

газополумених покриттів з основою на 25%, як порівняти з наявним способом підготовки поверхні нарізуванням «рваного» різблення, а також визначено раціональні режими та параметри формування замкового профілю на підготовлюваній поверхні [21].

Аналіз, обґрунтування та вироблення рекомендацій щодо використання механічних властивостей матеріалів, зокрема й композиційних, при нанесенні покриттів методами газополуменового напилення покриттів – один із найважливіших етапів дослідження, який дасть змогу не тільки об'єктивно судити про поведінку деталей під час експлуатації, а й активно керувати ресурсом їхньої роботи, впливаючи на склад, структуру, властивості та, звісно ж, технологію отримання покриттів.

Нині сучасне виробництво оснащено складною технікою, безвідмовність роботи якої залежить від ресурсу найбільш навантажених деталей. У багатьох самохідних машинах знайшли широке застосування різні підшипники ковзання, оскільки вони мають високі антифрикційні властивості та витримують значні питомі навантаження. Найчастіше це бронзові підшипники ковзання типу «втулка», виготовлені з бронзи. Підвіска самохідних машин має різне конструктивне рішення балансирного пристрою, до складу якого також входять втулки (підшипники ковзання), виготовлені з антифрикційного матеріалу. Ці підшипники лімітують ресурс балансирувальної підвіски і потребують відновлення або заміни новими – ремонтного розміру.

Під час проведення капітального ремонту потрібен ремонт підвіски, а аналіз зношеного стану підшипників ковзання показує, що внутрішня циліндрична поверхня бронзових втулок виходить за межі розмірів, допустимих під час ремонту. Ці підшипники лімітують ресурс роботи відповідальних складальних одиниць. Забезпечення високої довговічності підшипників ковзання є складним завданням як під час їх виготовлення, так і під час ремонту.

Одним із найбільш раціональних шляхів підвищення довговічності підшипників ковзання є застосування біметалевих втулок із нанесеним на внутрішню поверхню покриттям із порошків на основі бронзи [22-24]. Серйозною

проблемою під час виготовлення подібних втулок є забезпечення необхідної міцності зчеплення антифрикційного покриття з металевою основою. Відомо, що міцність зчеплення може бути підвищена формуванням на поверхні основи спеціального рельєфу. Одним із найбільш раціональних видів рельєфів, що наносяться, є сітчастий профіль, одержуваний накочуванням. Однак відсутність обґрунтованих рекомендацій щодо режимів і застосовуваних матеріалів під час виготовлення підшипників ковзання косим сітчастим накочуванням і газополуменевим напиленням порошків на основі бронзи стримує впровадження таких технологій у виробництво і тому є актуальним завданням.

Аналіз наявних матеріалів і технологій виготовлення та відновлення підшипників ковзання дає змогу зупинити свій вибір на технології виготовлення біметалевого підшипника ковзання замість підшипника з цільної бронзи. Застосування сталевих основи і пластичного деформування для її обробки, а також обґрунтований підбір антифрикційного матеріалу з порошків бронзи дадуть змогу підвищити експлуатаційні показники розроблюваного підшипника ковзання [24].

Отриманий методом ГПН антифрикційний шар через фізичні процеси, що відбуваються під час газотермічного напилення, має високу пористість, низьку міцність, мікротвердість і зносостійкість, тому необхідна подальша механічна обробка різанням (точіння, шліфування). Однак це призводить до збільшення втрат дорогого порошкового матеріалу з кольорових металів через необхідність зняття припуску. Крім того, одержувана шорсткість і точність розміру після механічної обробки залишаються на низькому рівні. Недоліками відомих методів обробки антифрикційних покриттів також є недостатня міцність, мікротвердість і зносостійкість напиленого антифрикційного шару за водночас високої пористості та коефіцієнта тертя напиленого антифрикційного шару. У зв'язку з цим завданнями розроблення є підвищення точності розміру, міцності, мікротвердості та зносостійкості напиленого антифрикційного шару за одночасного зниження втрат порошкового матеріалу, шорсткості, пористості та коефіцієнта тертя напиленого антифрикційного шару.

Поставлені завдання вирішуються тим, що подальшу механічну обробку проводять пластичним деформуванням накочуванням антифрикційного покриття твердосплавним інструментом. Для цього механічну обробку антифрикційного шару до номінального або ремонтного розміру здійснюють оздоблювально-зміцнювальною обробкою поверхневим пластичним деформуванням. З цією метою проводять операцію накочування поверхні антифрикційного покриття твердосплавним інструментом у вигляді роликів. У результаті накочування завдяки створенню наклепу відбувається зміцнення поверхневого шару антифрикційного покриття, що призводить до зміни мікроструктури, підвищення міцності, мікротвердості антифрикційного шару за одночасного зниження шорсткості та пористості. Зниження шорсткості призводить до підвищення точності розміру і зносостійкості, а також до зниження коефіцієнта тертя напиленого антифрикційного шару. Крім того, мінімальний припуск на таку обробку різко знижує втрати порошкового матеріалу за рахунок відсутності стружки.

Отриманий у такий спосіб підшипник ковзання зі сталевій втулки з напиленим шаром бронзи з подальшою оздоблювально-зміцнювальною обробкою поверхневим пластичним деформуванням поверхні антифрикційного покриття твердосплавним інструментом у вигляді роликів володіє більш високими показниками якості поверхневого шару і є більш довговічним за водночас низької вартості отримання.

Для досягнення зазначених результатів проводять розробку оснащення та інструменту для накочування, а також оптимізацію параметрів інструменту та режимів обробки.

Ще однією серйозною проблемою, що виникає на виробництві, є те, що для формування рівномірного і якісного покриття на фасонних поверхнях необхідно забезпечити рівномірне переміщення пальника, розміщеного перпендикулярно до поверхні на заданій відстані від деталі, оскільки оптимальний режим напилення залежить від багатьох чинників, зокрема від кута і дистанції напилення.

За малої дистанції напилення створюється небезпека деформації металу основи під впливом термічних напружень; коли ж відстань надто велика, температура і швидкість напилюваних частинок знижується, що призводить до

утворення «пухкого» покриття і зменшення міцності зчеплення з основою. Певний вплив на формування покриття під час газополуменевого напилення має кут атаки, тобто кут між напрямком напилення і поверхнею основи. У міру зменшення кута напилення зростає пористість покриття, знижується коефіцієнт використання напилюваного матеріалу, знижується його щільність і міцність зчеплення покриття з основою, тобто найкращі характеристики покриття отримують за перпендикулярного напрямку полум'я пальника відносно напилюваної поверхні.

Деформація напилюваних частинок відбувається при зіткненні з поверхнею основи. У випадках, коли неможливо забезпечити цей кут, допускається відхилення від вертикалі, але не більше ніж на 45° . В іншому випадку сильно знижується якість покриття і зростають втрати порошку. Найінтенсивніше напилення відбувається по центру потоку, де зосереджуються найбільші фракції найменш окислених розпорошених частинок. Основна маса напилюваного матеріалу надходить по центру потоку, де досягаються найкраще зчеплення з основою, мінімальна пористість і окислення частинок. У зовнішній частині факела матеріал напилюється з мінімальною швидкістю, водночас утворюється окислений шар частинок з високою пористістю і поганим зчепленням з основою. підкладкою.

Отже, під час відновлення сферичних поверхонь необхідно забезпечити перпендикулярність полум'я відносно поверхні, що напилюється, і рівномірне переміщення пальника в горизонтальній площині з дотриманням фіксованої дистанції напилення. Вирішення цього завдання можна домогтися шляхом копіювання сфери пальником, розміщеним на незмінній відстані напилення і зафіксованим від переміщення у вертикальному напрямку.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ (ВАЛ ТУРБІНИ ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВЗ) ДЛЯ РЕНОВАЦІЇ ТА ЗМІЦНЕННЯ

Головне завдання авторемонтного виробництва полягає у відновленні надійності автомобілів при повному використанні залишкової довговічності деталей. Довговічність автомобілів останнім часом істотно підвищилася за рахунок застосування нових матеріалів і досконалішого обладнання. При цьому за місце на ринку продукції та послуг зіткнулися фінансові інтереси структур двох груп. Перша група охоплює виробництво автомобілів і запасних частин, посередництво та обслуговуючий бізнес. Друга група – це збережена частина виробництва зі спеціалізованого ремонту та власники техніки. У результаті цього стався розвал ремонтного виробництва з виключенням капітального ремонту повнокомплектних автомобілів з їхнього життєвого циклу і скороченням обсягів ремонту агрегатів на спеціалізованих підприємствах.

Питання тертя, зношування в машинах і підвищення зносостійкості деталей розглянуті в роботах А.М. Антипенко, А.М. Бондар, Белас О.М., Бутаков, Б. І., Войтов В.А., Д.П. Журавель, О.Ю. Новик, К.Г. Петренко та ін.

Згідно з даними, наведеними в роботах [25], основний вплив на працездатність деталей машин, які працюють в умовах тертя ковзання, має зношування. Його також супроводжують явища, що прискорюють руйнування поверхонь деталей машин.

Аналіз явищ, що відбуваються під час зближення і ковзання поверхонь, що труться, показав, що виникають механічна і молекулярна взаємодії, які спричиняють механічні, хімічні та структурні зміни поверхонь тертя, а потім руйнування поверхневих шарів матеріалу.

Зношування поверхні тертя відбувається внаслідок руйнування фрикційних зв'язків через пружне та пластичне відтіснення матеріалу, мікрорізання, адгезійного руйнування плівок і когезійного руйнування матеріалу. Перші три види порушення

фрикційних зв'язків спостерігаються за механічної взаємодії, останні два – за молекулярної [26].

Механічні взаємодії супроводжуються молекулярною взаємодією. Вид руйнування залежить від міцності плівки, що розділяє поверхні, які контактують. Якщо міцність плівки менша за міцність основного матеріалу, то відбувається її адгезійний відрив, якщо ж міцність плівки або поверхневих шарів більша за міцність основного матеріалу і міцність їхнього зв'язку з основним матеріалом велика, то відбувається когезійний відрив (глибинне виривання).

Для забезпечення зовнішнього тертя необхідно, щоб нерівності, наявні на поверхні твердішого тіла, обтікали м'якший матеріал, по якому вони ковзають. Під час ковзання виступу нерівності поверхнею, що пластично деформується, попереду утворюватиметься валик, а ззаду – канавка. Опір зумовлений об'ємним деформуванням тонкого поверхневого шару і подоланням адгезійних зв'язків, що виникають між плівками, які покривають тверді тіла. Найбільш вигідним у зв'язку з цим є поєднання тонкої плівки самозмащувального матеріалу з металом. При цьому міцність на зріз визначається малою міцністю матеріалу, що змащується, а опір впровадженню – високою міцністю металу, який покритий тонкою плівкою матеріалу [27].

Залежно від виду порушення фрикційного зв'язку відокремлення частинок матеріалу поверхонь, що контактують, відбувається за різного числа взаємодій. Знос в умовах контактних циклічних навантажень зростає при підвищенні тиску і збільшенні коефіцієнта тертя, а зменшується при збільшенні модуля пружності матеріалу і числа циклів до руйнування.

У разі втомного зношування не спостерігається повної аналогії між кривою втоми і залежністю зносу від навантаження і сили тертя. Це пояснюється тим, що під час зношування впливають також супутні чинники: шорсткість поверхні, пружно-пластичні властивості матеріалу, зміна структури в процесі зношування тощо. У разі втомного зношування під час пружного контакту або абразивного зношування чинники, що впливають на зношування, мають різний вплив.

Таким чином можна виокремити основні причини, що зумовлюють зношування поверхонь деталей під час тертя:

- пластичне деформування поверхневого шару, що призводить до його наклепу і руйнування мікронерівностей;
- окислювальні процеси, що призводять до утворення оксидних плівок, які хоча й перешкоджають схоплюванню і глибинному вириванню, але крихкі і швидко руйнуються;
- впровадження окремих фрагментів поверхні однієї деталі в сполучену поверхню іншої, що під час ковзання спричиняє утворення нерівностей поверхонь і за багаторазового впливу – їх руйнування;
- адгезійне схоплювання, що призводить до перенесення матеріалу однієї деталі на поверхню іншої і посилення зношування;
- наводорожування поверхонь тертя, що прискорює зношування деталей залежно від умов їхньої роботи більш ніж на порядок.

Деталі типу «вал» становлять більшу частину номенклатури відновлюваних деталей автомобіля. У більшості випадків саме ці деталі лімітують ресурс їхніх вузлів і агрегатів. Коефіцієнт їх відновлення під час капітального ремонту машин становить 0,25-0,95. Довжина відновлюваних валів становить 100-4000 мм, проте понад 90 % цих деталей мають довжину не більше 1000 мм. Діаметри валів дорівнюють 12-210 мм, але у 98 % валів діаметр не перевищує 60 мм. Середнє значення маси становить близько 3 кг.

У деталей типу «вал» найчастіше дефекти з'являються на посадкових поверхнях під підшипники і різьбових поверхнях.

Поверхні під підшипники відновлюють у разі зносу понад 0,017-0,060 мм; поверхні нерухомих з'єднань (місця під маточини зі шпонковими пазами тощо) за рахунок додаткових деталей – у разі зносу понад 0,04-0,13 мм; поверхні рухомих з'єднань – у разі зносу понад 0,4-1,3 мм; під ущільнення – понад 0,15-0,20 мм. Шпонкові пази відновлюють у разі зносу за шириною понад 0,065-0,095 мм; шліцьові поверхні – у разі зносу понад 0,2-0,5 мм [17].

З усієї сукупності відновлюваних поверхонь валів 46 % зношуються до 0,3 мм;

27 % - від 0,3 до 0,6 мм; 19 % - від 0,6 до 1,2 мм і 8 % - понад 1,2 мм.

Основною вимогою, яку необхідно виконати під час відновлення валів, є забезпечення розмірів і шорсткості поверхонь, що відновлюються, їхньої твердості, суцільності покриття, міцності зчеплення нанесених шарів з основним металом, а також співвісності, радіального й торцевого биття оброблених поверхонь, паралельності бічних поверхонь зубів шліцьових і шпонкових пазів до осі вала.

Вали автомобільної техніки виготовляють переважно із середньо вуглецевої та низьколегованої сталей. Їхні шийки піддають поверхневому загартуванню струмами високої частоти, цементації з подальшим загартуванням, нормалізації.

Дефекти деталей автомобілів заведено ділити на три групи: механічні ушкодження, хіміко-теплові ушкодження і знос. Пошкодження деталей механічним способом відбувається в результаті ушкодження його поверхні тріщинами, рисками і задирами, а так само можливий вигин вала, його поломка або скручування.

У низці випадків на робочих поверхнях деталей утворюються риси і задирки, особливо часто це відбувається в з'єднаннях «вал-підшипник ковзання», внаслідок забруднення мастила або абразивної дії часток чужорідного походження.

На поверхні деталей можуть утворюватися тріщини мікрометричних розмірів внаслідок впливу надлишкових місцевих навантажень, ударів від займання робочої суміші або іншого роду, а також перевантаженості вала. Поява цього дефекту виникає в найбільш навантажених місцях деталей – на межі опорної поверхні. Особливо часто цей дефект трапляється в колінчастих і розподільних валах двигуна внутрішнього згоряння автомобілів. Найбільше до тріщин схильні вали, виготовлені з високоміцного чавуну. Крім тріщин, що виникають унаслідок впливу сил ударного характеру, з'являються втомні тріщини в найнапруженіших місцях деталей унаслідок тривалого впливу знакозмінних навантажень. У низці випадків тріщини можуть з'являтися внаслідок теплового впливу. У рідкісних випадках від впливу великого крутного моменту, пов'язаного з подоланням тимчасових значних опорів під час роботи, розподільні вали піддаються скручуванню [17].

Дефекти хіміко-теплового характеру виникають унаслідок складних взаємодій за важких умов роботи вузлів і агрегатів, у яких вони встановлені. До таких

пошкоджень належать: викривлення, корозія, раковини та інші. Ці пошкодження зустрічаються рідше, порівняно з іншими.

Викривлення деталей відбувається внаслідок впливу високої температури, наприклад при порушенні правил експлуатації автомобілів, що призводять до виникнення структурних змін і великих внутрішніх напружень. У рідкісних випадках відбувається корозійний процес, тобто руйнування металу внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з корозійним середовищем. Оскільки переважна більшість технологічних середовищ є електролітами, то основним видом корозії обладнання є електрохімічна корозія.

У деталей автомобілів, зокрема розподільного вала, зустрічається корозія суцільна (рівномірна і нерівномірна) або місцева. Корозія із суцільною площею покриття полягає в поступовому зменшенні первісної товщини поверхні деталі, при цьому можливий розрахунок її швидкості заздалегідь, використовуючи дані з корозійної стійкості конструкційних матеріалів у конкретних технологічних середовищах. Але більший шкідливий вплив становить місцева (вибіркова) корозія. Основними причинами появи місцевої корозії, тобто корозії, що охоплює окремі ділянки поверхні деталей автомобілів, є як внутрішні чинники (мінливість структури і властивостей матеріалу, стан поверхні, неоднорідний напружений стан в елементах конструкції тощо), так і зовнішні чинники, які визначаються передусім умовами взаємодії металу із середовищем (температура, тиск, час, умови контактування, склад корозійного середовища тощо).

Різноманітність умов експлуатації зумовлює різні види зношування робочих поверхонь деталей автомобілів. Для валів характерними видами зношування є абразивне, корозійно-механічне, гідроабразивне, гідроерозійне та кавітаційне.

Найпоширенішим видом дефектів є корозійно-механічне зношування, що відбувається внаслідок механічних впливів, які супроводжуються хімічним або електрохімічним впливом середовища на метал. Унаслідок спільного впливу механічного та корозійного чинників у поверхневих шарах металу відбуваються взаємопов'язані явища, що сприяють активації процесів пружно-пластичного деформування, хімічних та електрохімічних реакцій тощо. До найпоширенішого

виду корозійно-механічного зношування відносять насамперед руйнування металів завдяки тертю поверхонь, що сполучаються, за недостатнього змащення або його відсутності, що супроводжується одночасною дією на поверхню металу корозійного середовища і сил тертя.

Можливе гідроабразивне зношування, що відбувається внаслідок впливу на поверхню металу твердих абразивних частинок, зважених у рідині, які переміщуються відносно поверхні, що зношується.

У деяких випадках можливим дефектом є зношування під час заїдання, тобто зношування внаслідок схоплювання, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу та впливу нерівностей, які виникли, на сполучені поверхні. Під час тертя сполучених поверхонь адгезійний зв'язок робить внесок у силову взаємодію. Розрив фрикційного зв'язку відбувається по площинах максимальних дотичних напружень і локалізується для шорстких поверхонь у тілі мікронерівностей. Зношування під час схоплювання проявляється за відсутності мастильних плівок і поверхневих структур, що локалізують лінії пластичної течії в тонких поверхневих шарах. У цих випадках площини максимальних напружень поширюються в глибші від поверхні контакту шари та істотно збільшують обсяг деформованого матеріалу. Руйнування матеріалу відбувається на значній від поверхні глибині, а частина матеріалу, що відокремився, налипає на поверхню з'єднаної деталі. Якщо зусилля зсуву перевищує рівень рухомих сил, відносний рух деталей припиняється і відбувається задир з'єднаної пари. Такий вид зношування є катастрофічним, що призводить до швидкої відмови вузла тертя.

Аналіз причин несправності деталей типу «вал» показав, що здебільшого (понад 70 %) основних дефектів є зношування деталей, які працюють у з'єднаннях типу «вал-підшипник ковзання».

В автомобільній техніці з'єднання типу «вал-підшипник ковзання» застосовують у кривошипно-шатунному механізмі та циліндропоршневій групі (колінчастий вал – вкладиші, поршневий палець – верхня головка шатуна, поршневий палець – бобишки поршня), у голівці циліндрів (ГЦ) (розподільний вал – ГЦ), у підвісці автомобіля (шкворень – цапфа поворотного кулака), у

турбокомпресорі (вал ротора – втулка підшипника). Під час експлуатації автомобілів у цих з'єднаннях виникає природний знос, що призводить до поломки і відмови цього вузла або всього агрегату. Під час ремонту в понад 50% випадків, крім зносу корпусної втулки, потрібна заміна або відновлення вала, також через знос, причому вартість втулок становить 5-10% від вартості самих валів.

Основна маса дефектів розподільного вала зводиться до значного зносу і задирок на поверхнях кулачків і шийок, тріщин, подряпин на поверхнях під сальники, руйнування кріпильних отворів або різьблення в них, а також шпонкових пазів і посадкових місць під штифти, шків та шестерні (рис. 2.1).

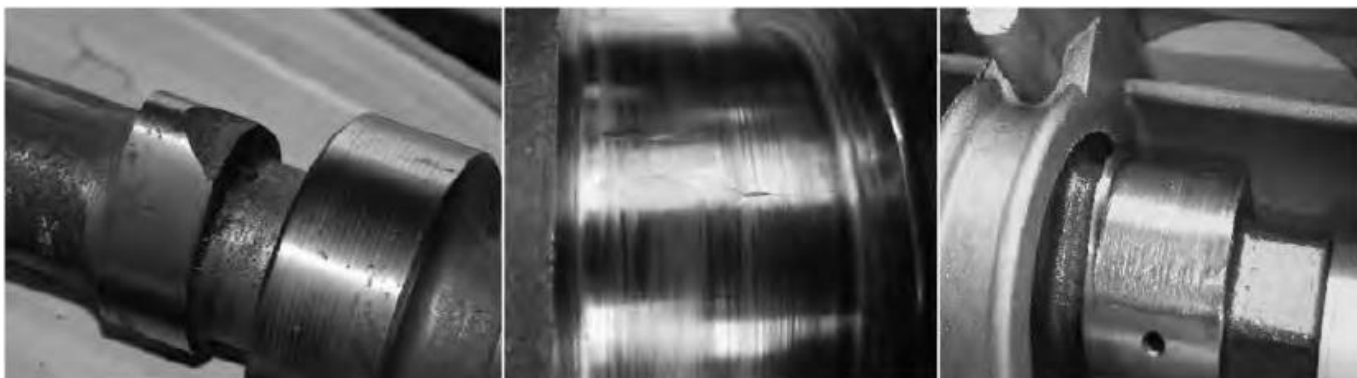


Рис. 2.1. Види дефектів розподільного вала

Причини, що спричиняють багато з перерахованих вище дефектів, аналогічні з причинами зношування колінчастого вала двигуна:

- недостатній тиск у системі змащення;
- недостатній рівень мастила;
- неякісне мастило;
- сильне перегрівання, що призводить до розрідження мастила;
- потрапляння в мастило бензину (дизельного пального), що призводить до розрідження мастила;
- засмічення мастильного фільтра;
- робота двигуна на брудному мастилі.

Фактори, що впливають на швидкість, форму і глибину зносу кулачка за ступенем їх важливості, можна розташувати в такому порядку:

- форма і розміри штовхача;
- форма і розміри кулачка;
- з'єднання розподільного вала з іншими деталями (поверхня постелі розподільного вала);
- з'єднання розподільного вала з іншими деталями (підшипники ковзання);
- швидкість обертання розподільного вала;
- матеріали кулачка і штовхача;
- величина і напрямки сил, що діють між кулачком і штовхачем (сила розтискних пружин клапана), тиск між кулачком і штовхачем (що залежить від величини сил і площі контакту);
- умови роботи (мастило, температура, потрапляння сторонніх тіл, абразивних елементів, частинок стружки);
- маса деталей, що входять у роботу механізму, моменти інерції;
- інші особливості.

Для підвищення зносостійкості розподільного валу пропонується наносити алюмінієве покриття. Як способи нанесення були обрані газополуменеве напилення і алітування зануренням у розплавлений метал. Використання різних способів нанесення покриттів обумовлено порівнянням двох способів, оскільки якісні визначальні для двох способів є однаковими. Однак для широкого застосування газополуменевого напилення необхідно підвищити міцність зчеплення покриття з підкладкою, а також знизити відсоток пористості покриття.

Проведемо аналіз способів попередньої підготовки поверхні розподільного валу:

1. Абразивно-струменева обробка. Забезпечення міцної взаємодії покриття з основним металом проводиться найрізноманітнішими способами. Використання їх обмежується лише геометричними параметрами самих деталей. Найпоширенішим методом підготовки поверхні стала абразивно-струменева обробка.

Сутність цього способу очищення поверхні від різних забруднень полягає в обробці поверхні струменем дрібних частинок (абразиву), що подаються на деталь із сопла піскоструминного апарату.

Застосування абразивно-струменевої обробки знайшло досить широкий діапазон у найрізноманітніших галузях машинобудування. З його допомогою проводять очисні роботи, фінішні – видалення слідів механічної обробки (такі як точіння, фрезерування), а також шліфування та полірування (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Очисна абразивно-струменева обробка

Не менш важливим фактором великої популярності цього способу є збереження геометричних розмірів деталі після обробки.

Деталі, які пройшли обробку абразивом, мають на своїй поверхні залишкову напругу стиснення від поверхневого наклепу після зіткнення з абразивом. Однак слід зазначити, що в напиленому покритті присутні залишкові напруги розтягування. Тим самим напруги стиснення знижують фактор впливу втомної міцності. Причому при збільшенні значення залишкових напружень стиснення на поверхні після обробки абразивом, тим вища втомна міцність підкладки і покриття. Тому попередня підготовка абразивно-струменевим методом необхідна для підвищення міцності зчеплення під час газополуменевого напилення.

2. Рване різьблення. Ще одним не менш часто використовуваним методом підготовки поверхні під напилення покриттів є механічне оброблення на токарному або фрезерному верстаті, з метою отримання на поверхні складного профілю –

«рваного» різьблення. Нарізування «рваного» різьблення дає змогу забезпечити достатню міцність зчеплення за низьких значень втомної міцності, одержуваних після утворення концентраторів напруги на поверхні. Зважаючи на це, деталі, що піддаються умовам циклічних навантажень, необхідно додатково пластично деформувати, застосовуючи спосіб абразивної обробки. Оскільки воно надає виробам велику втомну міцність. А при спільній обробці, зниження міцності зчеплення буде компенсуватися за рахунок збільшення площі контакту частинок покриття і основного металу в профілі рваної різьби.

Нарізування «рваної» різьби здійснюють для підготовки поверхні здебільшого деталей циліндричної форми. Однак невеликі плоскі поверхні так само можливо обробити в патроні токарного верстата. Обробку проводять за один раз на необхідну глибину, яка залежить від товщини напилюваного шару і дорівнює 0,3-0,5 мм. Крок різьблення береться в межах 0,75-1,50 мм.

Для запобігання забрудненню профілю обробленої поверхні нарізування проводять без охолодження і змащення.

У місці з нарізуванням «рваної» різьби на поверхню рекомендується наносити насічки, застосовуючи накатні ролики.

3. Накатка. Накатка це процес формування на поверхні обертової деталі певного профілю. Накатка здійснюється вдавненням жорсткішого ролика (рис. 2.3) у тіло м'якшого, і внаслідок поверхневої деформації відбувається формування рисок, сітки, насічки або різьблення. Під час токарного накатування на поверхні відбуваються деформації, що сприяють утворенню наклепу і, як наслідок, збільшенню втомної міцності.

Виконуючи послідовно дві операції, буде здійснюватися накатка вершин різьблення, тим самим отримуючи замковий профіль (рис. 2.4), і збільшуючи механічну міцність зчеплення покриття з основним металом.

Для напилення найбільш підходить коса сітчаста накатка, крім того вона є найпростішою за виконанням. Врізання роликів здійснюється за два оберти деталі, при цьому рух поздовжньої подачі не здійснюється.



Рис. 2.3. Накатка з двома косозубими роликами

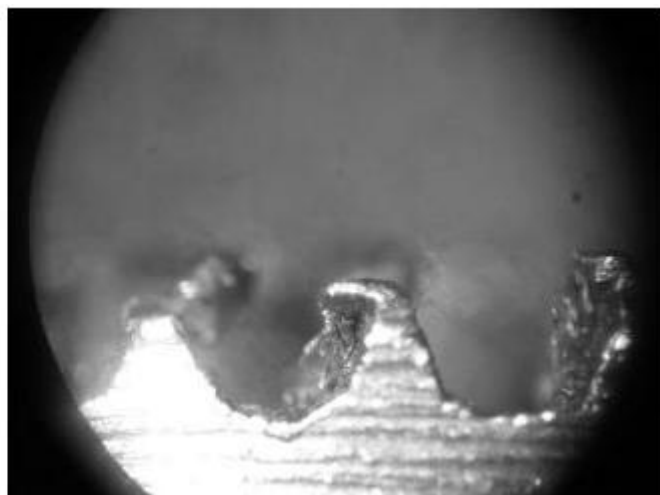
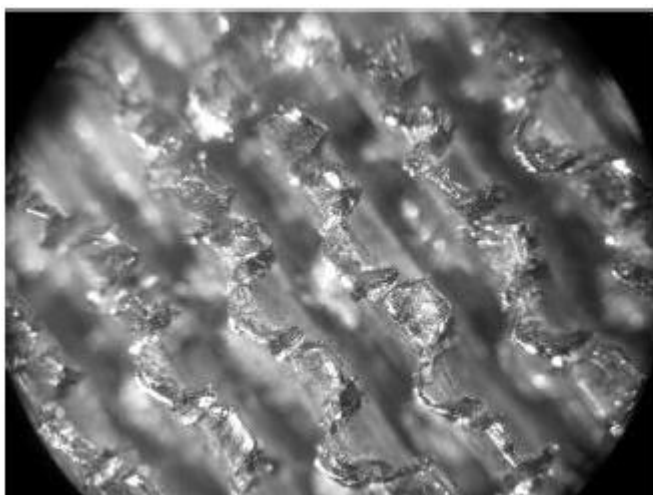


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд профілю рваної різьби після накатки

Крім цього, розроблено досить перспективний метод попереднього оброблення поверхні, в якому спочатку нарізають рване різьблення, а потім за допомогою накатного ролика здійснюють формування напівгнучкоподібної ділянки.

Усі вище перелічені способи належали до механічних, тобто процесів, під час яких різноманітним чином змінюється поверхня деталі.

4. Знежирення. Знежирювачі вирішують чотири завдання: вони повинні проникнути через поверхню забруднень; змочити поверхню металу; допомогти спливати, емульгувати або диспергувати жири та олії; створити поверхню, чисту, на

якій водна плівка не розривається. При цьому вони повинні: не атакувати поверхню металу; не створювати небезпечних виділень або аерозолів; бути легко змивними.

Нині використовується, в основному, два типи знежирювачів – лужні та кислотні. Лужні знежирювальні склади в даний час розроблені досить добре і застосовуються в значній кількості технологічних процесів, де потрібне попереднє отримання чистої поверхні.

5. Попередній підігрів. Попередній підігрів – це проведене перед будь-яким процесом нанесення покриття підвищення температури основного металу до необхідного значення, званого температурою попереднього підігріву. При цьому температура підвищується локально або всього виробу. Підігрів може проводитися як перед нанесенням покриття. Так і одночасно, як правило, це застосовується для масивних деталей, там де місце нанесення покриття має невелику ділянку взаємодії і низьку швидкість переміщення по периметру деталі. Крім цього зберігається міжшарова температура, тобто температура основного металу в проміжок часу між першим і останнім проходом, не повинна опускатися нижче температури попереднього підігріву [28].

Разом з тим, не вирішено проблему підвищення надійності роторів до заданих показників, не виконано розрахунки показників надійності роторів.

Метою досліджень є підвищення надійності валів ротора турбокомпресора двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) під час виконання ремонту методом газополуменевого напилювання

Для проведення дослідження використано такі наукові методи: аналізу та синтезу; абстрактно-логічний (теоретичне узагальнення, сформульовані висновки). В роботі використано метод підвищення надійності роторів шляхом газополуменевого напилювання покриттів.

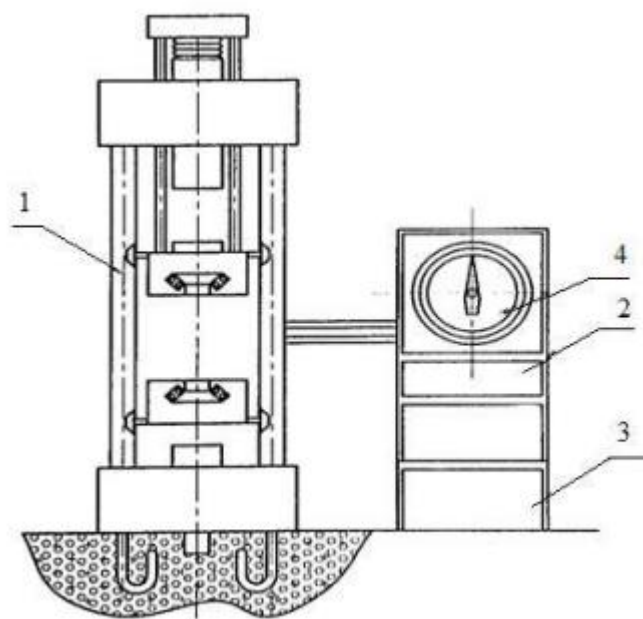


Рис. 2.6. Схема розривної машини РМ-20: 1 – навантажувальний пристрій; 2 – пульт управління; 3 – насосна установка; 4 – реєструючий пристрій

Слід зазначити, що всім інтерметалідам системи залізо-алюміній притаманний крихкий характер руйнування. Крихкість цих сполук пояснюється їхньою складною кристалічною будовою, наявністю ковалентного та іонного зв'язків. Під час деформації подібних сполук ковзання швидко припиняється і не виникає під час подальшої деформації смуг. Спотворення кристалічної решітки, що спричиняє появу смуг ковзання, кристалографічно обмежене, що і призводить до крихкого руйнування.

Не дивлячись на крихкість за низьких температур, за високих температур інтерметалічні сполуки якоюсь мірою стають пластичними. Можливість промислового використання як спеціальних покриттів сплавів на основі алюмініду заліза багато в чому зумовлена наявністю у них за кімнатної температури (в деяких випадках і за мінусових температур) певної мінімальної пластичності, яка відповідає достатньому рівню їхньої в'язкості руйнування. На найбільшу увагу заслуговують упорядковані інтерметалідні сплави на основі Fe_3Al , що вирізняються високою жаростійкістю, зокрема в сірковмісних середовищах.

Під час проведеного аналізу способів підвищення адгезійних показників алюмінієвих покриттів нанесених газополуменим напиленням перевагу віддають таким способам, як абразивна обробка, нарізування рваного різьблення і попередній підігрів, крім цього поверхню, так само необхідно знежирювати. Для надання алюмінієвим покриттям підвищеної корозійної стійкості, окалинестійкості та зносостійкості вирішено піддавати сталь з алюмінієвим покриттям дифузійному відпалу, що дасть змогу сформувати покриття на основі інтерметалідів алюмінію.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕНОВАЦІЇ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛІ (РОТОРА ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВЗ) МЕТОДОМ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ

Проблему підвищення якості виробів неможливо вирішити без вирішення проблеми підвищення їх надійності. Малі міжремонтні наробітки виробів, значні витрати запасних частин визначаються, частіше всього, невисокою зносостійкістю поверхонь деталей, що труться. Проблема надійності комплексна, потребує вирішення в сферах виробництва та експлуатації двигунів, в т.ч. в процесі ремонту деталей, які швидко зношуються. Підвищення надійності деталей в процесі їх ремонту, покращення таких показників, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, у порівнянні з аналогічними показниками базової деталі, є актуальною проблемою.

В роботі [7] розроблено захисні покриття та технологічні процеси їх нанесення для зміцнення: відновлення зношених деталей автомобілів.

Для ремонту обладнання широко застосовують наплавлення, яке дає можливість порівняно швидко відновити зношену поверхню, отримати покриття, яке характеризується високою стійкістю проти спрацювання. Для наплавлення використовують широко розповсюджене обладнання [29].

Хіміко-термічна обробка статі широко застосовується з метою збільшення міцності і стійкості проти зношення деталей машин і обладнання [30, 31].

Для відновлення зношених деталей обладнання широко застосовують також газотермічні методи: газопорошкового наплавлення, газопорошкового і плазмового напилення, електродугової металізації [32]. З метою підвищення зносостійкості деталей застосовують газову та електродугову металізацію [33], а також застосовують для відновлення розмірів зношених деталей машин та механізмів, які працюють на стирання. Застосовують сталь з високим вмістом вуглецю або нержавіючу сталь [34].

Для зміцнення та відновлення інструменту, шийок кулачкових валів, ексцентриків, храповиків, кулачків використовують порошок ПГ-10Н01. Обробка покриття здійснюється шліфуванням [35].

На сьогодні правильне рішення задачі забезпечення надійності отримують раціональним вибором матеріалів - сталей, кольорових сплавів, неметалевих матеріалів, які безпосередньо відповідають головним вимогам забезпечення надійної роботи конструкції за безперервного контролю якості в умовах експлуатації [36].

Разом з тим, не вирішено проблему підвищення надійності роторів до заданих показників, не виконано розрахунки показників надійності роторів.

Метою досліджень є підвищення надійності валів ротора турбокомпресора двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) під час виконання ремонту методом газополуменевого напилювання

Для проведення дослідження використано такі наукові методи: аналізу та синтезу; абстрактно-логічний (теоретичне узагальнення, сформульовані висновки). В роботі використано метод підвищення надійності роторів шляхом газополуменевого напилювання покриттів.

При виконанні дослідних та виробничих робіт по газополуменовому нанесенні порошкових покриттів на вал ротора турбокомпресора використовувалась універсальна апаратура та пальники (Термо – 1 – конструкції державного університету «Житомирська політехніка», ГН-2, ГН-3 і ГЗУ-4).

Використання комплексу даної апаратури дозволило раціонально вирішити задачі, пов'язані з попереднім нагрівом напилюваної деталі, напилюванням зносостійкого покриття та його доплавлюванням (при використанні порошкових покриттів на основі сплавів ПГ-12Н-01, ПГ-10Н-01 і т.п.).

Апарат для газополумених покриттів «Термо–1» призначений для газополуменевого напилювання зносостійких, корозійностійких покриттів на сталі, чавунні, бронзові та інші деталі машин і механізмів.

Апарат «Термо–1М» портативного виконання, складається із пульта керування пістолета-розпилювача і спеціального пальника для доплавлювання покриттів на основі сплавів, що самофлюсуються.

За конструктивним виконанням апарат відповідає стандарту на установки газотермічних покриттів і забезпечує можливість ефективного розпилення порошкових матеріалів різних типів ацетиленом і газами-замінниками, якість покриттів, продуктивність процесу і безпечні умови роботи оператора.

ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АПАРАТУ «ТЕРМО-1»

Тип апарату.....	універсальний
Максимальна продуктивність розпилення, кг/год.....	до 10
Коефіцієнт використання порошку.....	0,9 – 0,955
Робочі гази:.....	ацетилен, пропан-бутан, кисень, повітря (азот).
Габаритні розміри пульта, мм	430×270×400
Маса апарату, кг	не більше 12

На рисунку 3.1 приведена схема газополуменевого напилення з використанням апарату «ТЕРМО-1».

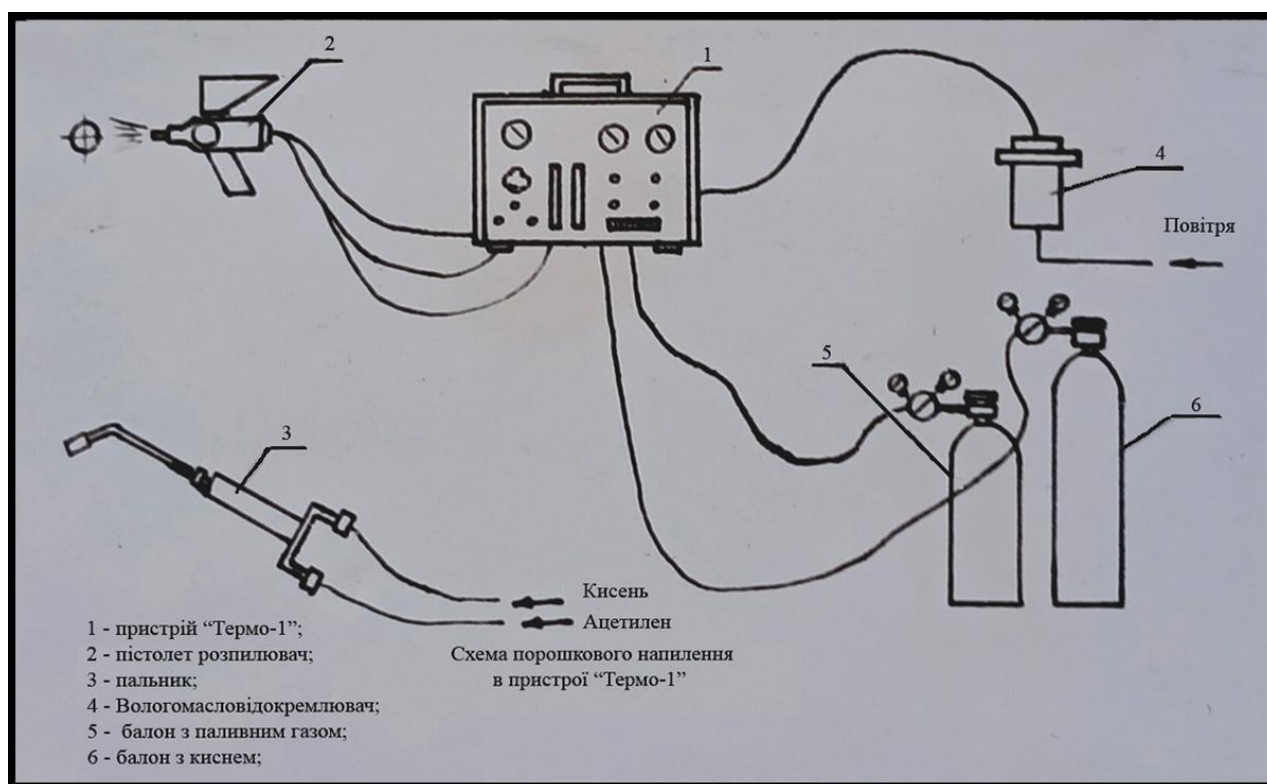


Рис. 3.1 Схема напилювання метало порошків з використанням апарату «ТЕРМО-1».

Газополуменеве напилення здійснюється з подачею порошку в зварну ванну. Метод напилення забезпечує тонкі покриття товщиною 0,05 мм і більше з рівною

поверхнею, як правило на невеликій деталі. Пальники ГН-2, ГН-3 та їм аналогічні працюють по схемі двохступінчастої інжекції. Розпилення та розплавлювання порошкового матеріалу здійснюється за один робочий хід: порошок, що наплавляється, подається на поверхню деталі, яка вже розігріта до температури 700...800°C .

Пальники, що використовуються, (табл. 3.1) можуть бути використані як для газопорошкового напилювання, так і для доплавлювання шару ацетилен-кисневим або пропан-бутановим полум'ям з відповідною модернізацією вузлів пальника.

Пальник ГН-3, маючи більшу потужність, ніж пальник ГН-2 має конструктивну особливість: в нижній частині вузла подачі порошку знаходиться пристрій для всмоктування повітря із атмосфери та регулювання його кількості, щоб забезпечити надійну роботу пальника в умовах інтенсивного нагріву мундштука відбитим полум'ям.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики пальників ГН

Найменування показника	Модель пальника	
	ГН-2	ГН-3
Тиск газу, Па		
ацетилену (не менше)	10	20
кисню (не більше)	200	400
Витрати порошку (не більше) кг/год	2	5
Товщина шару покриття, мм	0,3...2,0	1...5
Коефіцієнт використання порошку	0,75	0,7
Маса пальника, кг	0,77	1,1

Пальник ГЗУ-4 універсальний і призначений для зварювання , нагрівання і термообробки виробів. Пальник працює на ацетилені і пропан-бутані. Він входить в комплект апаратури «Термо-1» і використовується для доплавлювання зносостійких покриттів на роторах та інших деталях автотракторної техніки.

Режими газополуменового напилення і доплавлювання покриттів

В табл.. 3.2 наведені технологічні режими газополуменового напилювання і доплавлювання порошкових покриттів на апаратурі «Термо-1» і ГН-2.

Таблиця 3.2

Технологічні режими газополуменевого напилювання і доплавлювання

Тип пальника	Тиск паливного газу, Па	Тиск кисню, Па	Витрати охолоджуючого транспортуючого повітря, л/год	Витрати порошку, кг/год
Термо	8...10	40...50	$\frac{720 \dots 3000}{240 \dots 420}$	1,8...10
ГН-2	>10	<20	-	2,0...3,0

Характеристика порошкових сплавів, що самофлюсуються

Одним із самих поширених сплавів для поверхневого зміцнення деталей машин і обладнання є Ni – Cr – B – Si сплави. Об'єм випуску порошків цих сплавів складає 80% від загальної кількості матеріалів для нанесення напилюваних покриттів.

Покриття з цих сплавів мають ряд експлуатаційних переваг, що дозволяють їх використовувати у важких умовах роботи, в окремість на деталях машин, тракторів, технологічних інструментів і т.п. Висока зносостійкість (в 4...6 разів перевищує стійкість загартованої сталі 45), підвищений опір ударним навантаженням, можливість працювати у вузлах тертя ковзання обумовлена будовою цих сплавів; карбідні фази (HV=2100...2900 кГс/мм²), змішані кристали (HV=400...700 кГс/мм²), евтектика (HV=900...1000 кГс/мм²), і боріди хрому (HV=3600...4600 кГс/мм²).

Елементи бор і кремній, які в малих кількостях добавляються в сплави, забезпечують цим сплавам властивості самофлюсування і зниження температури плавлення до 1050°C. За рахунок узгодження окремих елементів цих сплавів, вони мають широкий діапазон використання. Твердість сплавів, що сам офлюсуються, системи Ni – Cr – B – Si знаходиться в діапазоні від 250 HV до 62 HRC.

Для напилювання і наплавлення використовують порошкові сплави марок ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПГ-10Н-01. Покриття із цих сплавів мають низький коефіцієнт тертя і добре чинять опір тертю метал по металу, корозії і термічним ударам, задовільно оброблюються різанням. Максимальна робоча температура покриття до 800°C.

Основне призначення сплавів даної системи – нанесення зносостійких газотермічних покриттів на вали, осі кочення, муфти та інші деталі машин. Хімічний склад та твердість вказаних марок сплавів представлені в табл. 3.3

Таблиця 3.3

Марка сплаву	Хімічний склад по масі					Твердість, HRC
	Хром	Бор	Кремній	Залізо	Вуглець	
ПГ-12Н-01	8...14	1,7...2,8	1,2...3,5	2...5	0,3...0,6	35...44
ПГ-12Н-02	10...16	2,0...4,0	3,0...5,0	3...6	0,4...0,8	45...54
ПГ-10Н-01	14...20	2,8...4,2	4,0...4,5	3...7	0,6...1,0	55...62

При розробці процесу відновлення і зміцнення ротора турбокомпресора ДВЗ був виконаний аналіз і прийнято рішення використати процес газополуменевого напилювання і оплавлення, який включає допоміжні і додаткові наступні операції:

- ✓ підготовку металопорошків, що самі офлюсовуються (просушка);
- ✓ приготування порошкових сумішей (у випадку використання композитних покриттів на основі сплавів, що самі офлюсовуються) на установці БСК-1-029 конструкції державного університету «Житомирська політехніка»;
- ✓ підготовка деталей (очищення від бруду та мастила; відбір деталей, що підлягають відновленню; зняття залишків нерівномірного зношення; знежирювання поверхні; активація і формування шорсткості поверхні вала ротора (проточка для усунення нерівномірного зносу, абразивно-струменева обробка на установці УАП-6-1 конструкції державного університету «Житомирська політехніка»;
- ✓ нанесення зносостійкого покриття (встановлення та закріплення вала в центрах маніпулятора; нанесення покриття на опорні поверхні підшипник ковзання до діаметра 21 мм) пальником «Термо-1» на ацетилені або пропані;
- ✓ оплавлення покриття (нагрівання напиленого покриття до температури 900... 1050 °С; для нанесення і оплавлення покриттів застосовано пальник ГЗУ-4, в якості пального газу - ацетилен, твердість покриття становить 55...62 HRC_e; тиск ацетилену - 0,01 Мпа; тиск кисню - 0,2 Мпа; витрати ацетилену - 350 л/год; витрати кисню - 350 л/год; витрати порошку - до 2 кг/год);

- ✓ обробка шару покриття високотемпературним мастилом і передача виробу на механічну обробку.

На рисунках 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6 показані операції по відновленню робочих поверхонь ротора турбокомпресора ДВЗ методом газополуменевого напилювання (операції 1,2,3,4,5).

На рисунку 3.7 показана операція доплавлювання шару зносостійкого покриття газополуменевим пальником ГЗУ-4.



Рис. 3.2



Рис. 3.3

Відновлення вала ротора 1113000620

Операція 3

Підрізати поверхню А відносно поверхні Б на 85,5 мм.

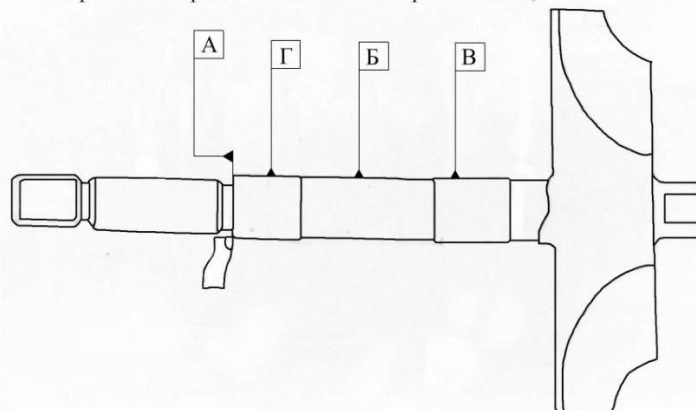


Рис. 3.4

Відновлення вала ротора 1113000620

Операція 4

Проточити поверхню Г- $\varnothing 18,3$ та В- $\varnothing 18,4$

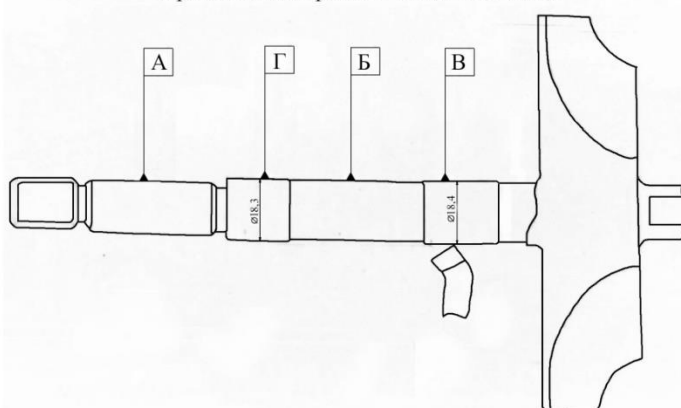


Рис. 3.5

Відновлення вала ротора 1113000620

Операція 5

Прошліфувати поверхню Г- $\varnothing 18_{-0,63}^{+0,07}$ та поверхню В- $\varnothing 18,2_{-0,04}^{+0,07}$

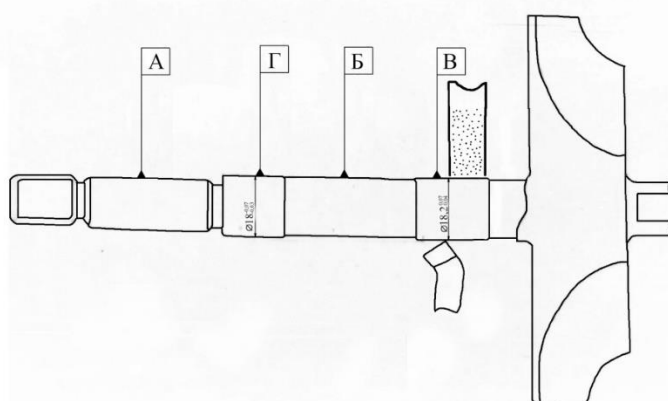


Рис. 3.6

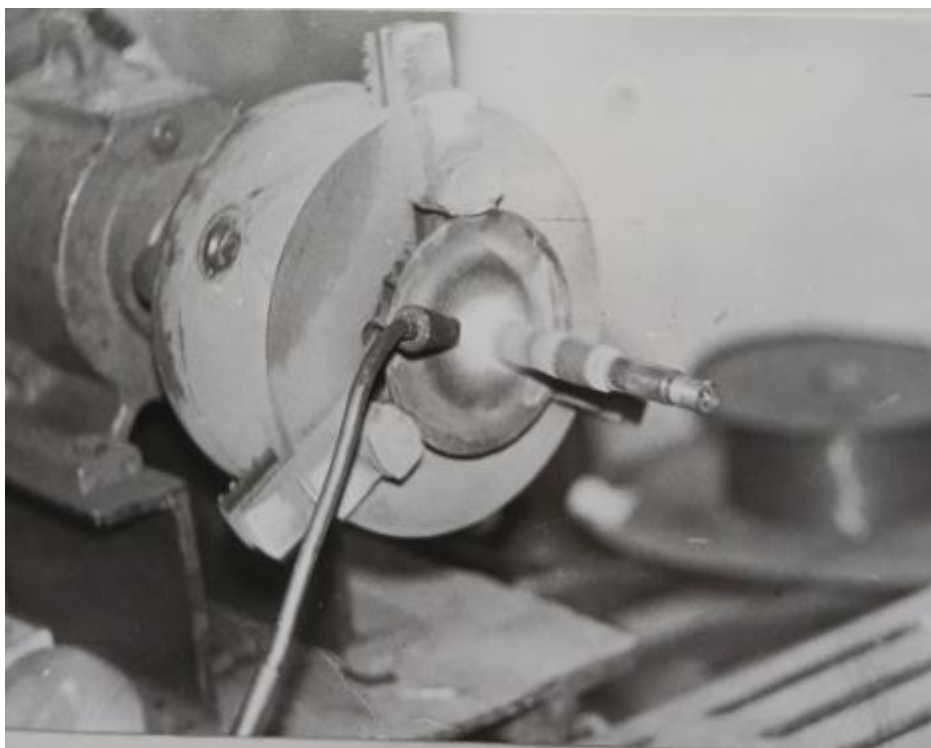


Рис. 3.7

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ПІСЛЯ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ

Механічна обробка є завершальною операцією з нанесення покриттів. Проблема механічної обробки пов'язана з особливостями мікроструктури, наявністю можливих дефектів, складним хімічним складом, характерною високою твердістю. Наявність великої кількості легуючих добавок і дрібнодисперсних зміцнювальних фаз викликає пружні деформації та помітне зміцнення покриттів під час різання. Це прискорює зношування обробного інструменту, механічні властивості якого сумірні з властивостями покриттів. Низька теплопровідність металу покриттів також ускладнює процес різання. У зв'язку з цим обробку ведуть на режимах, параметри яких значно нижчі за загальноприйняті, інакше кажучи, із заниженою продуктивністю, навіть порівняно з легованими сталями аналогічної твердості. При цьому використовують точіння, шліфування, фрезерування, свердління та інші відомі методи. Важливо, щоб виріб із покриттям під час обробки не піддавався значним деформаціям і навантаженням, які спричиняють розтягувальні напруги.

За продуктивністю обробки пріоритет слід віддати обробці твердосплавними різцями. Але цьому виду обробки піддаються лише покриття з твердістю не більш як 40 HRC_e, отримані з самофлюсуючих порошкових сплавів ПТ-10Н-04, ПГ-СР2. Покриття більш високої твердості обробляються шліфуванням. Дуже погано піддаються обробці сплави, що містять карбіди; наприклад ПС-12НВК, тому покриття з таких матеріалів бажано використовувати як необроблювані.

Шліфування. Основним методом обробки покриттів прийнято шліфування. Незважаючи на низьку продуктивність порівняно з токарною обробкою, шліфування дуже часто виявляється єдиною можливим методом.

Застосовується плоске, кругле і безцентрове шліфування з використанням МОР або сухе. Як інструмент використовують круги з карбіду кремнію зеленого або корунду на керамічній зв'язці з розміром зерна близько 0,5 чорнового і 0,2 мм чистового шліфування.

Підвищити швидкість обробки в 3-6 разів можна, якщо використовувати алмазні круги АСКМ для чорнового і M016, MB1 для чистового шліфування. Шліфування слід проводити з невеликими подачами за високого числа обертів.

Сухе шліфування забезпечує питому продуктивність у 4,8 рази вищу, ніж мокре. Стійкість круга при цьому в чотири рази вища. Таке положення пояснюється такими обставинами. Низька теплопровідність абразивних кругів сприяє тому, що теплота, що виділяється під час шліфування, концентрується у верхніх шарах оброблюваного покриття. Контактна температура в зоні становить близько 1200 °С (у разі застосування МОР удвічі менша), що, безумовно, знижує твердість металу і робить його більш піддатливим обробці, отже, обробку проводять в умовах знеміцнення металу, що може позначитися на властивостях покриття. Знижується його твердість і зносостійкість, можливі припіки і мікротріщини. До того ж спосіб сухого шліфування супроводжується високою запиленістю повітря в робочій зоні, що погіршує умови праці. Тому, з огляду на всі фактори, для обробки покриттів краще шліфування з рясним охолодженням емульсолом, незважаючи на невисоку продуктивність. Доцільно використовувати круги зернистістю M25, M40 і твердістю CM1-CT1. Як охолоджувальну рідину застосовують 5 %-й емульсол, наприклад, Е-2, при витраті 2-4 л/хв. Рекомендовані режими для різних умов шліфування наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Режими обробки покриттів шліфуванням

Режими	Вид шліфування	
	кругле	плоске
Швидкість круга, м/с	30-35	30-35
Швидкість деталі, м/хв	30-32	18-20
Попер. подача, мм/дв. хід	0,01-0,02	1,8
Поздовжня подача, м/хв	1,2-1,5	-
Глибина різання, мм	-	0,1

Закінчувати обробку слід виходжуванням, яке забезпечує шорсткість $R_a = 2,5-0,3$ мкм залежно від тривалості. Полірування покриття не рекомендується, оскільки

абразивний матеріал набивається в пори і створює задирки під час тертя на поверхні деталей, що сполучаються.

Токарна обробка. Токарній обробці піддають відносно нетверді покриття з твердістю орієнтовно до 40 HRCe. Інструмент виготовляють зі сплавів марок Т15К6, ВК3М, ВК6М, особливо дрібнозернистого сплаву ВК6, а також із надтвердих інструментальних матеріалів ельбора, гексаніту, кібориту. Вибір марки матеріалу інструменту залежить від твердості та хімічного складу покриття, виду обробки.

Оптимальні значення геометричних параметрів різців з режимами різання наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Оптимальні характеристики процесу точіння покриттів

Матеріал різця	Кут різця, град			Режими різання	
	головний в плані	передній	задній	швидкість, м/хв	подача, мм/об
Т15К6	30-15	10-12	8-12	100	0,2
ВК3М	45	15	8	50-70	0,2
ВК6М	30	10-15	5-8	50	0,2

Токарна обробка покриттів проводиться різцями з пластинами: із твердих сплавів (ВК2, ВК3, ВК3М); полікристалічних надтвердих матеріалів (композит 01 - ельбор-Р, композит 02 - бельбор, композит 10 - гексаніт-Р, кіборит). Для збільшення стійкості різцям надають таку геометрію: передній кут різця 7° , задній кут в плані $8...12^\circ$, кут в плані $45...60^\circ$, допоміжний кут в плані $10...12^\circ$, кут нахилу ріжучої кромки 0° , радіус при вершині $1...1,5$ мм. Режими заточування різця: $V_p = 25...30$ м/с; $S_{пр} = 1...3$ м/хв.; $t_p = 0,01...0,02$ мм подвійного ходу. Режими доводки: $V_p = 25...30$ м/с; $S_{пр} = 1...2$ м/хв.; $1_p = 0,005$ мм подвійного ходу. Шорсткість доведених граней різця - $11, = 0,63...0,36$ мкм. Режими чорнової обробки покриттів: $V = 20...25$ м/хв.; $S = 0,15...0,2$ мм/об.; $t = 0,3...0,4$ мм. Матеріал ріжучого інструмента – тверді сплави, ВК3, ВК4, гексаніт. Режими фінішної обробки покриттів: $V = 25...30$ м/хв.; $S = 0,1.0,15$ мм/об.; $t = 0,15.0,2$ мм. Матеріал ріжучого інструмента – тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р.

Для обробки покриттів деталей з невеликими припусками застосовано шліфування без попередньої токарної обробки. З метою поліпшення якості оброблення поверхні деталей вибрані корундові круги на м'якій основі зернистістю 46-60 марки Е60СМ. Режими шліфування: швидкість круга $V = 25 \dots 30$ м/с; швидкість деталі $V_k = 10 \dots 20$ м/хв.; глибина різання $t = 0,015 \dots 0,030$ мм; подача $S = 5 \dots 10$ мм/об.; охолоджувальна рідина – емульсія.

На основі наведеного вище аналізу інформації стосовно технології механічної обробки поверхонь деталей з нанесеними зносостійкими покриттями на основі метало порошків, що сам офлюсуються, була розроблена технологія механічної обробки роторів турбокомпресора ДВЗ, після напилювання зношених поверхонь за наступним маршрутом:

- ✓ токарна обробка покриттів (режими чорнової обробки покриттів: $V = 20 \dots 25$ м/хв: $S = 0,15 \dots 0,2$ мм/об; $t = 0,3 \dots 0,4$ мм; матеріал різального інструменту - тверді сплави, ВКЗ, ВК4, гексаніт; режими фінішної обробки покриттів: $V = 25 \dots 30$ м/хв; $S = 0,1 \dots 0,15$ мм/об; $t = 0,15 \dots 0,2$ мм; матеріал різального інструменту - тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р) ;
- ✓ обробка шліфуванням (корундові круги на м'якій основі зернистістю 46-60 марки Е60СМ; режими шліфування: швидкість круга $V_k = 25 \dots 30$ м/с; швидкість руху деталі $V_{дет} = 10 \dots 20$ м/хв; глибина різання $t = 0,015 \dots 0,030$ мм; подача $S = 5 \dots 10$ мм/об; охолоджувальна рідина-емульсія);
- ✓ вихідний контроль (візуальний огляд; контроль твердості покриттів; контроль розмірів вала; контроль шорсткості поверхонь; контроль форми).

РОЗДІЛ 5

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО
НАПИЛЕННЯ ДЛЯ РЕНОВАЦІЇ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕСОРА ДВЗ

Після виконання операцій технологічного процесу ремонту та зміцнення зношених роторів турбокомпресора проведено лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей покриттів (стійкості покриттів проти механічного зношення покриттів на машині тертя мод. М22П, міцності зчеплення покриття з основою на розтяг проведені на розривній машин: Р20, твердості напилених покриттів з використанням приладу ТК-14-250 та інші дослідження).

Експериментальна партія роторів з розробленими захисними покриттями була встановлена на турбокомпресори ДВЗ СМД-60 і випробовували до першої відмови (див. табл. 5.1).

Одиничні та комплексні показники надійності визначено дослідним шляхом. Для цього в заданих умовах проведено випробування партії роторів з фіксацією всіх показників (наробітку, відмов, неполадок). Середній наробіток на відмову - це середнє значення наробітків N роторів до першої відмови і статистично визначено за формулою

$$T_{\text{від}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{\text{від}i}, \quad (5.1)$$

де $T_{\text{від}i}$ - наробіток i -го ротора до першої відмови, місяців (див. табл. 5.2).

Таблиця 5.1

Результати виробничих випробувань роторів турбокомпресора двигуна СМД-60

Номер ротора, i	Наробіток на відмову ротора (прототипу), місяців	Наробіток на відмову проектного ротора місяців	Коефіцієнт збільшення терміну експлуатації ротора проектного по відношенню до прототипу
1	12	28	2,333
2	11	30	2,727
3	9	35	3,888
4	8,5	27	3,176
5	13	26	2,000
6	7	34	2,000

Таблиця 5.2

Основні показники ротора турбокомпресора ДВЗ

Найменування показника	Значення показника
Матеріал вала ротора	Сталь 45
Матеріал напиленого покриття	ПГ-10Н-01
Витрати порошку на 1 ротор, кг	0,9
Вартість порошку на 1 ротор, \$	6,75
Вартість ротора (прототип), \$	75
Затрати на відновлення ротора B_e , \$	63
Твердість робочого шару ротора (прототип), HRC _e	52
Твердість робочого шару ротора (проекований), HRC _e	55...62
Середній наробіток на відмову ротора (прототип), місяців	10,083
Середній наробіток на відмову ротора (проекований), місяців	30,0
Середній коефіцієнт збільшення терміну експлуатації ротора проєктованого по відношенню до прототипу	2,687
Середній час безвідмовної роботи за певний період (наробіток на відмову) T_o , год	5280
Середній час на відшукання й усунення відмов T_v , год.	4
Тривалість технічного обслуговування τ_{to} , год	4
Тривалість поточного ремонту τ_p , год	2

Для оцінки економічного показника надійності використовувався коефіцієнт

$$K_e = \frac{B_B + B_e(t)}{T_e} \quad (5.2)$$

де B_e - затрати на виготовлення ротора; $B_e(t)$ - експлуатаційні затрати у функції часу; T_e - час експлуатації [37].

При $B_e(t) = 2,5$ \$, $B_B = 63$ \$ і $T_e = 30$ міс. отримано за формулою (5.2) значення економічного показника надійності вала ротора. Значення цього показника отримано за рахунок розподілу капіталовкладень між сферою виробництва та сферою експлуатації (див. табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Показники надійності відновленого ротора з напиленим покриттям

Найменування показника	Значення показника
Економічний показник надійності K_e	17,46
Ціна надійності B_n , \$.	225
Коефіцієнт готовності K_z	0,999

Вища надійність досягається за рахунок додаткових затрат. У зв'язку з цим використано поняття ціни надійності B_n . Під ціною надійності будемо розуміти змінні затрати на виготовлення виробу, зумовлені вимогами надійності.

Для прогнозування затрат на підвищення надійності за результатами обробки дослідних даних про ціну надійності застосовано метод порівняння з прототипом (вали роторів без напиленого покриття)

$$B_H = B_{\text{на}} \left(\frac{T_{\text{від}}^{\text{пр}}}{T_{\text{від}}^{\text{п}}} \right)^a, \quad (5.3)$$

де B_H – ціна надійності виробу; $B_{\text{на}}$ – ціна надійності аналога чи прототипу; $T_{\text{від}}^{\text{пр}}$ – напрацювання на відмову проектного виробу; $T_{\text{від}}^{\text{п}}$ – напрацювання на відмову (середній термін служби) прототипу; a – емпіричний показник, що характеризує підвищення надійності виробу ($a = 0,5 \dots 1,5$) [8].

Зі значеннями $B_{\text{на}} = 75 \$$, $T_{\text{від}_i}^{\text{п}} = 10,083$ міс., $T_{\text{від}}^{\text{пр}} = 30$ міс. і $a = 1$, за формулою (5.3) розраховувались значення ціни надійності ротора відновленого методом газополуменевого напилювання з використанням порошку ПГ-10Н-01 (див. табл. 5.3).

Для повнішої оцінки надійності застосовано комплексні показники. На практиці найчастіше визначають коефіцієнти готовності та технічного використання. Після математичної обробки дослідних даних отримано кількісні значення необхідних показників.

Коефіцієнт готовності K_{Γ} характеризує одночасно дві різні властивості – безвідмовність та ремонтпридатність і кількісно визначається за формулою

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (5.4)$$

де T_0 – середній час безвідмовної роботи за певний період (наробіток на відмову); T_B – середній час, витрачений на відновлення працездатності ротора за цей же період експлуатації, тобто середній час на відшукування й усунення відмов [7].

Коефіцієнт технічного використання $K_{\text{ТВ}}$ визначено як відношення сумарного часу перебування випробовуваних роторів у працездатному стані (сумарного

наробітку) за період експлуатації до суми цього наробітку й часу простою, витраченого на технічне обслуговування і ремонт за той же період експлуатації. Кількісно коефіцієнт технічного використання визначено за формулою

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{T_o}{T_o + \tau_{\text{ТО}} + \tau_{\text{Р}}}, \quad (5.5)$$

де $\tau_{\text{ТО}}$ - тривалість технічного обслуговування; $\tau_{\text{Р}}$ - тривалість поточного ремонту [7].

ВИСНОВКИ

В роботі проведено дослідження на тему «Реновація та підвищення зносостійкості автомобільних деталей»:

1) Визначено, що для деталей, що працюють в умовах тертя, де проявляється зношування робочих поверхонь, може бути доцільним метод газополуменевого напилення – це процес нагріву металу, у вигляді дроту або порошку, до пластичного або рідкого стану, і його перенесення струменем стисненого повітря на поверхню деталі.

2) Виокремлено основні причини, що зумовлюють зношування поверхонь деталей під час тертя: пластичне деформування поверхневого шару, що призводить до його наклепу і руйнування мікронерівностей; окислювальні процеси, що призводять до утворення оксидних плівок, які хоча й перешкоджають схоплюванню і глибинному вириванню, але крихкі і швидко руйнуються; впровадження окремих фрагментів поверхні однієї деталі в сполучену поверхню іншої, що під час ковзання спричиняє утворення нерівностей поверхонь і за багаторазового впливу – їх руйнування; адгезійне схоплювання, що призводить до перенесення матеріалу однієї деталі на поверхню іншої і посилення зношування; наводороджування поверхонь тертя, що прискорює зношування деталей залежно від умов їхньої роботи більш ніж на порядок.

3) Дослідження процесів газополуменевого напилення металопорошків марок ПГ-10Н-01, ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, що самофлюсуються, на дослідні деталі (матеріал Сталь 45) проводили з використанням установки «Термо – 1» – конструкції державного університету «Житомирська політехніка». Для напилення зносостійкого покриття (встановлення та закріплення вала в центрах маніпулятора; нанесення покриття на опорні поверхні під підшипник ковзання до діаметра 21 мм) пальником «Термо-1» на ацетилені або пропані; оплавлення покриття (нагрівання напиленого покриття до температури 900... 1050 °С; для нанесення і оплавлення покриттів застосовано пальник ГЗУ-4, в якості пального газу - ацетилен, твердість покриття

становить 55...62 HRC_e ; тиск ацетилену - 0,01 Мпа; тиск кисню - 0,2 Мпа; витрати ацетилену - 350 л/год; витрати кисню - 350 л/год; витрати порошку - до 2 кг/год.

4) Механічна обробка є завершальною операцією з нанесення покриттів. Проблема механічної обробки пов'язана з особливостями мікроструктури, наявністю можливих дефектів, складним хімічним складом, характерною високою твердістю. Для механічної обробки покриття поверхонь зношення ротора була запропонована наступна технологія:

- ✓ токарна обробка покриттів (режими чорнової обробки покриттів: $V = 20 \dots 25$ м/хв; $S = 0,15 \dots 0,2$ мм/об; $t = 0,3 \dots 0,4$ мм; матеріал різального інструменту - тверді сплави, ВК3, ВК4, гексаніт; режими фінішної обробки покриттів: $V = 25 \dots 30$ м/хв; $S = 0,1 \dots 0,15$ мм/об; $t = 0,15 \dots 0,2$ мм; матеріал різального інструменту - тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р);
- ✓ обробка шліфуванням (корундові круги на м'якій основі зернистістю 46-60 марки Е60СМ; режими шліфування: швидкість круга $V_K = 25 \dots 30$ м/с; швидкість руху деталі $V_{дет} = 10 \dots 20$ м/хв; глибина різання $t = 0,015 \dots 0,030$ мм; подача $S = 5 \dots 10$ мм/об; охолоджувальна рідина-емульсія);
- ✓ вихідний контроль (візуальний огляд; контроль твердості покриттів; контроль розмірів вала; контроль шорсткості поверхонь; контроль форми).

5) Проведений економічний аналіз реновації і підвищення зносостійкості автомобільних деталей на прикладі відновлення ротора турбокомпресора ДВЗ методом газополуменового напилення та зроблено наступні висновки:

- ✓ значення економічного показника надійності роторів $K_e = 17,46$ отримано за урахуванням розподілу капіталовкладень між сферою виробництва та сферою експлуатації,
- ✓ вища надійність досягнута за рахунок додаткових затрат. У разі зміцнення ротора методом газополуменового напилювання з використанням порошку ПГ-12Н-01 ціна надійності становить 225 \$.

- ✓ зі збільшенням середнього часу безвідмовної роботи T_0 ротора за певний період (наробіток на відмову) T_0 коефіцієнт готовності K_T зростає.
- ✓ зі збільшенням наробітку за період експлуатації або зменшенням часу простою, витраченого на технічне обслуговування і ремонт за той самий період експлуатації коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}$ зростає.
- ✓ коефіцієнт технічного використання найповніше характеризує надійність роторів, тому що враховує витрати часу в процесі проведення технічного обслуговування, ремонту й усунення відмов.
- ✓ Сфера ремонту є одним із джерел інформації про ступінь і характер пошкоджень елементів виробів, які ремонтують, як таких, що не досягає граничного стану і не мають відмов, так і таких, що досягає цих значень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв – Електронні текстові дані (1 файл: 8,81 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 318 с.
2. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування / Є.А. Фролов, С.І. Кравченко, С.В. Попов, С.М. Гнітько. Полтава, 2019. 204 с.
3. Студентська науково-технічна конференція «Наука – перші кроки»: тези доповідей: в 3 т. Т. 1. – Дніпро: ПДТУ, 2023. – 261 с.
4. Житник Д.В. «Підвищення ресурсу роботи деталей засобів водного транспорту за рахунок використання модифікованих зносостійких покриттів». Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – транспортні технології. Херсон. 2021. 166 с.
5. Ворона Т. В. Підвищення зносостійкості сталевих газотермічних покриттів електроконтактною обробкою з використанням вуглецевовмісних наповнювачів: дис. ... канд. техн. наук / Національна академія наук України, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля. Київ, 2016.
6. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. - 720 с.
7. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.
8. Конспект лекцій з дисципліни «Основи технології відновлення деталей» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 131 - Прикладна механіка за освітньо-професійною програмою «Технологія та устаткування зварювання» /Укл. Гасило Ю.А. Кам, янське: ДДТУ, 2017, 147 с.
9. Основи трібології: Підручник / Антипенко А.М. , Бєлас О.М., Войтов В.А. та ін. / За ред. Войтов В.А. – Харків: ХНТУСГ, 2008. - 342с.

10. Технологія та обладнання для газотермічного нанесення покриття. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка / Уклад.: Ю.С. Попіль, Д.В. Степанов – К: 2017. – 43 с.

11. Захарова І.В. Теоретичні та технологічні основи ресурсо- та енергозбереження при дуговому напиленні з використанням пульсуючого розпилювального потоку повітря. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології» – ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», МОН України, Маріуполь 2021. 348 с.

12. Кучеренко Ю. С. Основні технології та способи нанесення покриттів газотермічним напиленням / Ю. С. Кучеренко, В. А. Матвійчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2021. - № 6. - С. 240-242.

13. Газотермічне нанесення покриття. URL: <https://yuzhmash.com/ua/technologys/gazotermichne-nanesennya-pokritttya/>

14. Ночвай, В. М. Контроль параметрів двофазних потоків : збірник наукових праць / В. М. Ночвай – Житомир : «Житомирська політехніка», 2020. – 162 с.

15. Матеріали VI-ої міжнародної конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 13 - 15 вересня 2018 року: збірник наукових праць. Частина 1 / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 101 с.

16. Агєєв М. С. Наукові основи забезпечення надійності засобів транспорту та їх елементів використанням багатофункціональних покриттів в процесі ремонту : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів трансп." / Агєєв Максим Сергійович ; Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т, [Херсон. держ. мор. акад.]. — Харків, 2021. — 40 с.

17. Білик О. Г. Розвиток наукових і технологічних основ наплавлення зносостійких сплавів порошковими стрічками : автореф. дис. ... д-ра техн. наук 05.03.07 / Білик Олександр Григорович ; Держ. ВНЗ "Приазов. держ. техн. університет. – Маріуполь, 2019. – 40 с.

18. Блощин М. С. Інтенсифікація процесу лазерного газопорошкового наплавлення застосуванням енергії плазмового струменю : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.07 / Блощин Михайло Сергійович ; Нац. техн. університет України "Київ. політехн. ін-т". – Київ, 2018. – 20с.

19. Покрyтия и их использование в технике: под ред. В.Т. Трощенко. К.: Академперіодика, 2006. С. 981-1074.

20. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів. Частина І: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. - 51 с.

21. Конспект лекцій з дисципліни «Наплавлення та напильня» для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання»/ Укладачі Г.І.Камель, Ю.А.Гасило. – Кам, янське: ДДТУ 2017 – 108 с.

22. Будник А.Ф., Юскаєв В.Б. Фізика та механіка трибодизайну матеріалів: Навчальний посібник. –Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 203 с.

23. Підшипники ковзання. Навчальний наочний посібник [Електронний ресурс]: для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» уклад.: А. К. Скуратовський .–Електронні текстові данні 1файл:10,7 МБ – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 38 с.

24. «Триботехніка». Курс лекцій / Д.П. Журавель, О.Ю. Новик, А.М. Бондар, К.Г. Петренко. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 280 с.

25. Основи трібології: Підручник / Антипенко А.М., Белас О.М., Войтов В.А. та ін. / За ред.. Войтов В.А. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342 с.

26. Бутаков, Б. І. Підвищення зносостійкості деталей машин за допомогою поверхневої пластичної деформації / Б.І. Бутаков, Л.М. Кузенко, В.О. Артюх. - С.217-225.

27. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.

28. Корсаков, В.С, Повышение долговечности машин технологическими методами [Текст] / В.С. Корсаков., Г.Э. Таурит, Г.Д. Василюк и др. - К. : Техніка, 1986. - 158 с.
29. Харламов, Ю.О. Основы технології відновлення і зміцнення деталей машин [Текст] : навч. посіб. у 2 т. Т. 2. /
30. Ковалевский, А.А. Опыт применения газотермических покрытий для восстановления деталей и защиты металлов от коррозии [Текст] : обзор / А.А. Ковалевский, Л.А. Иовенас - Рига : ЛатНИИИИТМ, 1986. - 46 с.
31. Супрунчук, В.К. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції [Текст] : довідник / В.К. Супрунчук, М.ГІ, Роменський, О.М. Панчук та ін. - К. : Урожай, 1992. - 176 с.
32. Коломейцев, А.Г. Опыт восстановления деталей газотермическими методами [Текст] : обзорная информация /
33. Канарчук, В.Є. Надійність машин [Текст] : підручник / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. - К. : Либідь, 2003.-424 с.
34. Повышение производительности механической обработки изделий с износостойкими газотермическими покрытиями [Текст] : информационный листок / ЖЦНТИ. - Житомир. 1985. - 4 с.
35. Ю.О. Харламов, М.А. Будаг'янц. - Луганськ : вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2003. - 480 с.
36. Синельникова В. С. Аллюминида / В. С. Синельникова, В. А. Подергин, В. Н. Речкин - К.: Наукова думка, 1965 – 657 с.
37. Заблудський М.М., Наливайко В.А., Радько І.П., Окушко О.В., Радько І.В. Технології відновлення і зміцнення деталей електрообладнання з використанням композиційних матеріалів [Монографія]. – К.: «Видавничий центр НУБІП України», 2022. – 268с.
38. Pithawalla Y. B. Synthesis and characterization of nanocrystalline iron aluminide particles / Y. B. Pithawalla, M. S. El Shall, S. C. Deevi. // Intermetallics. – 2000. – №8. – С. 225–231.

39. Tomida S. Fe-Al composite layers on aluminum alloy formed by laser surface alloy iron powder / S. Tomida, K. Nakata. // Surface and Coatings Technology. – 2003. – №174. – C. 559–563.
40. Liu T. Preparation and characteristics of Fe₃Al nanoparticles by hydrogen plasma-metal reaction / T. Liu, Y. Leng, X. Li. // Solid State Communications. – 2003. – №125. – C. 391–394.
41. FeAl materials from intermetallic powders / E. Godlewskaa, S. Szczepanik, R. Mania [and oth]. // Intermetallics. – 2003. – Vol.11. – P. 307–312.