

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Оцінка ефективності впливу електроіскрових покриттів на
процес відновлення валів турбокомпресорів автомобілів в
КАТП «Агробудавтосервіс»»

Виконав:

магістрант групи АТ-23М-2 Богдан ПІЧКУРЕНКО
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доцент Сергій МАРКОВИЧ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доцент Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Пічкуренку Богдану Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Оцінка ефективності впливу електроіскрових покриттів на процес відновлення валів турбокомпресорів автомобілів в КАТП «Агробудавтосервіс»»

керівник роботи: Маркович Сергій Іванович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» ____ 2024 року
№ _____

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані переддипломної практики; технологічні карти дефектування та ремонту турбокомпресорів в КАТП «Агробудавтосервіс»; Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.; Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. - 348 с. Експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згорання. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти вищих навчальних закладів. / Укл. Маркович С.І., Бевз О.В. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. - 315 с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити): Вступ, реферат

4.1. Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень

4.2. Розділ 2. Аналіз об'єкта досліджень

4.3. Розділ 3. Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

4.4. Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийняття рішень

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Назва роботи, ціль роботи, предмет та об'єкт досліджень, задачі, наукова новизна, практичне значення дослідження та публікації.

2. Ілюстративні матеріали що до обґрунтування напрямку наукових досліджень.

3. Ілюстративні матеріали що до аналізу об'єкта досліджень.

4. Ілюстративні матеріали що до дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

5. Ілюстративні матеріали що до обґрунтування ефективності прийняття рішень

6. Висновки

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<u>Вступ, реферат</u>	30.10.2024 р.	
2	<u>Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень</u>	02.11.2024 р.	
3	<u>Розділ 2. Аналіз об'єкта досліджень</u>	05.11.2024 р.	
4	<u>Розділ 3. Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта</u>	13.11.2024 р.	
5	<u>Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийняття рішень</u>	28.11.2024 р.	
6	Формування ілюстративних матеріалів	01.12.2024 р.	

Магістрант _____
(підпис)

ПІЧКУРЕНКО Б.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сергій МАРКОВИЧ
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою даної магістерської роботи є дослідження підвищення ресурсу роторів турбокомпресорів шляхом застосування електроіскрових покриттів.

Об'єкт дослідження: процес відновлення функціональних параметрів циліндричних поверхонь роторів турбокомпресорів електроіскровим легуванням.

Предмет дослідження: – залежності та закономірності впливу електроіскрового легування на ресурс турбокомпресора двигуна.

В першому розділі проведено аналіз дефектів деталей автомобілів типу «вал», охарактеризовано умови роботи, види спрацювання турбокомпресора та технологічні методи відновлення вала ротора. Визначена сутність, переваги та недоліки електроіскрового легування, проаналізовані установки та електродні матеріали для електроіскрового легування. Обґрунтована актуальність теми магістерської роботи та задачі дослідження.

В другому розділі вибрана установка та електродні матеріали для ЕІЛ та вибрано інструменти, пристосування та технологічні методи для проведення досліджень

В третьому розділі дослідження вибрано об'єкт реновації та дана характеристика дефектів вала ротора турбокомпресора. Надано результати проведених досліджень: коефіцієнта тертя, зносостійкості поверхні, шорсткості, мікроструктури, мікротвердості, поруватості, міцності зчеплення електроіскрових покриттів. Наведено результати проведення виробничих випробувань турбокомпресорів з відновленим валом ротора.

В четвертому розділі приведено результати та відображено ефективність проведених досліджень та наведено детальний аналіз технологічного процесу відновлення, механічної обробки та балансування ротора турбокомпресора.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 85 сторінок тексту, 38 рисунків, 6 таблиць.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1. 1. Аналіз дефектів деталей автомобілів типу «вал»	10
1.2. Аналіз актуальності проблеми відновлення вала ротора турбокомпресора при ремонті	16
1.2.1. Характеристика умов роботи та загальні види спрацювання турбокомпресора	16
1.2.2. Спрацювання та методи відновлення вала ротора турбокомпресора	19
1.3. Сутність, переваги та недоліки електроіскрового легування	29
1.4. Установки для електроіскрового легування	31
1.5. Електродні матеріали для ЕІЛ	34
1.6. Актуальність теми магістерської роботи та задачі дослідження	36
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ	38
2.1. Вибір установки для ЕІЛ	38
2.2. Вибір електродних матеріалів для проведення ЕІЛ вала ротора ТКР	39
2.3. Вибір інструментів, пристосувань та технологічних методів для контролю стану зміцненого ротора ТКР	42
2.3.1 Прилади та методика дослідження коефіцієнта тертя та зносостійкості поверхні вала ротора ТКР	42

2.3.2. Прилади та методика дослідження шорсткості вала ротора ТКР	44
2.3.2. Прилади та методика дослідження мікроструктури поверхні вала ротора ТКР	24
2.3.3. Прилади та методика дослідження мікротвердості електроіскрових покриттів на поверхні вала ротора ТКР	45
2.3.4. Прилади, методика та пристосування для дослідження міцності зчеплення електроіскрових покриттів на поверхні вала ротора ТКР	47
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА	49
3.1. Вибір об'єкта реновації та визначення характеристик дефектів вала ротора турбокомпресора	49
3.2. Результати дослідження електроіскрових покриттів валів ТКР	53
3.2.1. Результати дослідження коефіцієнта тертя	53
3.2.2. Результати дослідження зносостійкості поверхні покриттів	54
3.2.3. Результати дослідження шорсткості поверхні електроіскрових покриттів	56
3.2.4. Результати дослідження мікроструктури електроіскрових покриттів	57
3.2.5. Результати дослідження мікротвердості електроіскрових покриттів	58
3.2.6. Результати дослідження пористості електроіскрових покриттів	59
3.2.7. Результати дослідження міцності зчеплення електроіскрових покриттів	60
3.2.8. Результати проведення виробничих випробувань	62
РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	64
4.1. Рекомендована технологія відновлення та зміцнення валу турбокомпресора електроіскровою обробкою	64
ВИСНОВКИ	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕШ – електроіскрові покриття
ЕЮ – електроіскрова обробка
ТКР - турбокомпресор
АТЗ - автотранспортні засоби
АТТ - автотракторна техніка
ВМТ - верхня мертва точка
ГРМ - газорозподільний механізм
ДВЗ - двигун внутрішнього згоряння
ДП - дизельне паливо
ККД - коефіцієнт корисної дії
ОГ - відпрацьовані гази
ОС - навколишнє середовище
ПА - паливна апаратура
ПНВТ - паливний насос високого тиску
ТО - технічне обслуговування
ТО-2 - технічне обслуговування №2
ПР - поточний ремонт
ЦПГ – циліндро-поршнева група

ВСТУП

Проведений аналіз літературних джерел, дозволив встановити факт, що близько 85% деталей автотракторної техніки піддається відновленню при зносі не більше 0,3 мм, тобто величина нанесення покриття незначна. Для відновлення деталей з такими зносами найбільше доцільно використовувати електроіскрову обробку (ЕІО). ЕІО відрізняється технологічною гнучкістю, дешевизною та дозволяє отримувати покриття з широким діапазоном властивостей.

Однак у багатьох випадках властивості електроіскрових покриттів зношених деталей автомобілів залежать від складу, структури та властивостей електродного матеріалу. З практичної точки зору найбільший інтерес представляють електроди з нанорозмірними частинками.

Викладене вище підтверджує, що тема дослідження є актуальною та спрямована на вирішення науково-практичного завдання, що має важливе народно-господарське значення.

Звідси ціллію даної магістерської роботи є дослідження підвищення ресурсу роторів турбокомпресорів шляхом застосування електроіскрових покриттів з застосуванням спечених електродів з наноструктурних диспергованих порошків з відходів сталі Р6М5.

Провівши детальний аналіз дефектів деталей автомобілів типу «вал» в загальному та проаналізувавши умови роботи ТКР та дефекти його вала ротора, визначено, що актуальність проблеми ремонту даного складного агрегата є досить високою. При цьому застосування ЕІО дозволяє не лише відновити вал ротора ТКР, але й в цілому підвищити ресурс його агрегату за рахунок збільшення зносостійкості поверхні вала.

Піддавши аналізу матеріали, що використовуються для ЕІО деталей, встановлено, що перспективним матеріалом для виготовлення електродів є наноструктурні порошки, що отримуються методом електроерозійного диспергування, а оптимальним технологічним методом їх отримання є спечення. Застосування таких електродів дозволить підвищити трибомеханічні характеристики покриття, отриманого електроіскровим легуванням на поверхні вала ротора ТКР.

В якості об'єкта реновації був взятий вал ротора ТКР на прикладі ТКР фірми Garrett GT 2049 S для двигуна 2.0 TDI Dura Forq автомобіль М Transit V».

Відновлення зношених валів турбокомпресорів проводилось на токарно - гвинторізному верстаті 1K62 з вбудованою в нього установкою для ЕІО « UR - 121»

Досліджено зносостійкість, коефіцієнт тертя, шорсткість, мікроструктуру, мікротвердість електроіскрових покриттів відновлювальних валів турбокомпресорів, що впливають на його ресурс.

Досліджено величину пористості електроіскрових покриттів наноструктурними електродами.

Розроблено технологію відновлення та зміцнення валу ТКР електроерозійними наноматеріалами. При цьому здійснюється балансування валу ротора з турбінним колесом у двох площинах колеса турбіни до величини, що вказана у технічних вимогах капітального ремонту, із застосуванням дорезонансного балансувального верстата БВІ-03-02Т .

Проведено виробничі випробування турбокомпресорів, відновлених за рекомендованою технологією. За результатами виробничих випробувань встановлено, що тривалість роботи ТКР із відновленим методом ЕІО наноструктурним електродом валом у 2 рази збільшилася порівняно з валом ТКР номінального розміру. Так, при введення абразивного матеріалу, що містить фракцію розміром 0,1 - 0,4 мм, час роботи ТКР з відновленим валом

становив 12,8 години, а час роботи ТКР з валом без зносу номінального розміру становив 8,1 години.

РОЗДІЛ 1

ОБґРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. 1. Аналіз дефектів деталей автомобілів типу «вал»

Автомобіль є складною технічною системою, елементи якої мають різні характеристики стійкості до втрати працездатного стану. На них впливають як внутрішні конструктивні фактори, що залежать від призначення та властивостей елемента, так і сукупність зовнішніх факторів, що визначаються як експлуатація автомобіля.

Сучасний автомобіль складається з 15...20 тис. деталей, з яких 7.. .9 тисяч втрачають свої початкові властивості при роботі, причому близько 3.. .4 тисяч деталей мають термін служби менший, ніж у автомобіля загалом. Усе це викликає найбільші простої автомобілів, ресурсні витрати на експлуатації [1].

Літературний огляд показав, що для більш ніж 70% зношених деталей автомобільної техніки раціонально було б повторне використання після відновлення. Це значно знижує ресурсні витрати автотранспортних підприємств, крім того, це економічно виправдано для ремонтного виробництва. Витрати на відновлення деталей у більшості випадків не перевищують 25-30% їх вартості, а при кваліфікованому призначенні технології відновлення досягається 100% ресурс. Різний термін служби автомобільних деталей обумовлений різними причинами. Основними з них є: виконувані функціональні призначення, різноманітний діапазон навантажень, різні види тертя в сполучених деталях і різні матеріали, з яких вони виготовлені, точність і якість обробки в деталях, що сполучаються.

Автомобільні деталі типу «вал» становлять більшу частину номенклатури деталей, що відновлюються. Найчастіше саме ці деталі лімітують ресурс вузлів і агрегатів машин. При цьому величина коефіцієнта їх відновлення при капітальному ремонті машин становить 0,25 - 0,95. Довжина валів, що відновлюються, становить 100 - 4000 мм, проте більше 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 та різбових поверхнях. Поверхні під підшипники відновлюють при зношенні більше 0,017.0,060 мм; поверхні нерухомих з'єднань (місця під маточини зі шпонковими пазами та ін.) за рахунок додаткових деталей - при зносі більше 0,04 - 0,13 мм; поверхні рухомих з'єднань - при зносі більше 0,4 - 1,3 мм; під ущільнення – понад 0,15 - 0,20 мм. Шпонкові пази відновлюють при зносі шириною більше 0,065 - 0,095 мм; шліцеві поверхні - при зношенні понад 0,2.0,5 мм [2].

При цьому слід зазначити, що з усіх поверхонь валів, що піддаються відновленню, 46% зношуються до 0,3 мм; 27% - від 0,3 до 0,6 мм; 19% - від 0,6 до 1,2 мм та 8% - більше 1,2 мм.

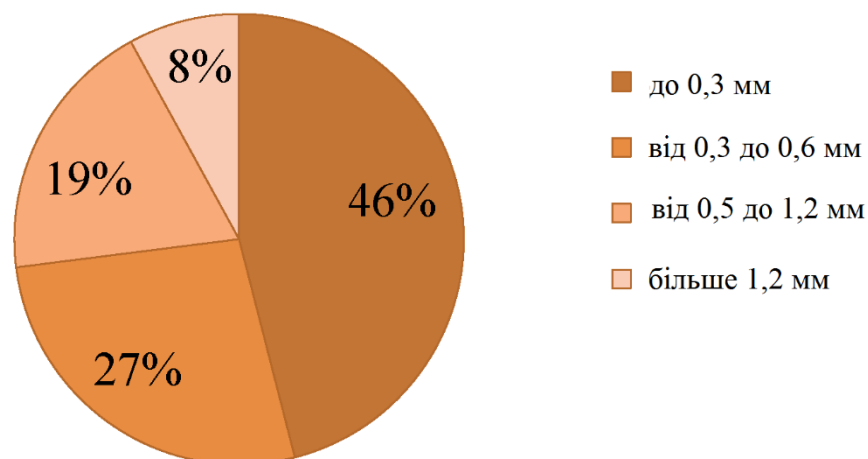


Рисунок 1.1. – Аналіз дефектів деталей автомобілів типу «вал» по рівню спрацювання поверхонь.

При відновленні валів необхідно забезпечити дотримання розмірів і шорсткості відновлюваних поверхонь, а також їх твердості, суцільності покриття, міцності зчеплення нанесених шарів з основою, а також співвісності, симетричності, величин радіального та торцевого биття оброблених поверхонь та конструкторських параметрів шпонкових пазів що до вісі валу.

Вали автомобільної техніки виготовляють переважно із середньовуглецевої та низьколегованої сталей. Їх піддають поверхневому гарту струмами високої частоти, цементації з наступним гартуванням, нормалізації.

Провівши аналіз літературних джерел [1-34] дефекти деталей автомобілів типу "вал" прийнято ділити на три групи: механічні ушкодження, хіміко-теплові ушкодження та зношування автомобільних деталей типу "вал".

Ушкодження деталей типу «вал» механічним способом відбувається внаслідок пошкодження його поверхні тріщинами, ризиками та задирками, а також можливий вигин валу, його поломка або скручування.

У ряді випадків на робочих поверхнях деталей типу «вал» утворюються ризики та надири, особливо часто це відбувається у сполученнях вал - підшипник ковзання, внаслідок забруднення мастила або абразивної дії частинок чужорідного походження.

На поверхні деталей типу «вал» можуть утворюватися тріщини мікронних розмірів, внаслідок впливу надлишкових місцевих навантажень, ударів від займання робочої суміші чи іншого роду, і навіть перевантаженості валу. Поява цього дефекту виникає у найбільш навантажених місцях деталей типу «вал» - межі опорної поверхні. Особливо часто цей дефект зустрічається в колінчастих та розподільних валах двигуна внутрішнього згоряння автомобілів. Найбільше тріщин схильні вали, виготовлені з чавуну. Крім тріщин, що виникають в результаті впливу сил ударного характеру, з'являються тріщини втоми в найбільш напружених місцях деталей типу «вал» в результаті тривалого впливу знакозмінних навантажень. У ряді випадків тріщини можуть з'являтися внаслідок теплової дії. Так само, в основному для валів малого

діаметра (до 1 мм), характерний вигин та порушення форми деталей у результаті ударних навантажень. Такий дефект з'являється, наприклад, біля валу ротора ТКР. Внаслідок втоми металу при сильних ударах обвал спостерігаються його поломки та обломи, які часто виникають на литих деталях. У ряді випадків від впливу великого моменту, що крутить, пов'язаного з подоланням тимчасових значних опорів при роботі, деталі типу «вал» схильні до скручування [2].

Дефекти хіміко-теплогового характеру деталей типу «вал» виникають у результаті складних взаємодій за важких умов роботи вузлів та агрегатів, у яких вони встановлені. До таких ушкоджень відносяться: короблення, корозія, раковини тощо. Дані ушкодження трапляються рідше, порівняно з іншими. Короблення деталей відбувається внаслідок впливу високих температур, наприклад при порушенні правил експлуатації автомобілів, що призводять до виникнення структурних змін і великих внутрішніх напруг. У поодиноких випадках відбувається корозійний процес, тобто руйнування металу, з якого виготовлений вал, внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії його з корозійним середовищем. Оскільки переважна більшість технологічних середовищ є електролітами, то основним видом корозії обладнання є електрохімічна корозія.

У деталей автомобілів, зокрема типу «вал», зустрічається корозія суцільна (рівномірна і нерівномірна) чи місцева. Корозія з суцільною площею покриття полягає в поступовому зменшенні початкової товщини поверхні деталі, при цьому можливий розрахунок її швидкості заздалегідь, використовуючи дані по стійкості корозійної конструкційних матеріалів в конкретних технологічних середовищах. Але більший шкідливий вплив має місцева (виборча) корозія. Основними причинами появи місцевої корозії, тобто корозії, що охоплює окремі ділянки поверхні деталей автомобілів, є як внутрішні фактори (зміна структури та властивостей матеріалу, стан поверхні, неоднорідний напружений стан в елементах конструкції тощо), так і зовнішні

фактори , що визначаються, перш за все, умовами взаємодії металу з середовищем (температура, тиск, час, умови контактування, склад корозійного середовища тощо).

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

Найбільш поширеним видом дефектів є корозійно механічне зношування, що відбувається в результаті механічних впливів, що супроводжуються хімічним або електрохімічним впливом середовища на метал. В результаті спільного впливу механічного та корозійного факторів у поверхневих шарах металу відбуваються взаємопов'язані явища, що сприяють активації процесів пружнопластичного деформування, хімічних та електрохімічних реакцій тощо.

До найбільш поширеного виду корозійно-механічного зношування відносять, перш за все, руйнування металів за рахунок тертя поверхонь, що сполучаються при недостатньому мастилi або її відсутності, яке супроводжується одночасним впливом на поверхню металу корозійного середовища і сил тертя. Особливо інтенсивно цей процес протікає при роботі шворнів, на поверхні валів, цапф та захисних втулок насосів та інших деталей.

Можливе гідроабразивне зношування, що відбувається в результаті впливу на поверхню металу твердих абразивних частинок, зважених в рідині і переміщуються відносно поверхні, що зношується. Такий вид характерний для робочих коліс та корпусів насосів, призначених для перекачування рідких технологічних середовищ. Наприклад, деякі автомобільні деталі, що витримують високі навантаження і добре працюють навіть за умов недостатнього змащування, не витримують тривалого впливу абразивних частинок.

У деяких виробничо-технічних умовах можливе виникнення зношування при заїданні в результаті схоплювання та глибинного виривання матеріалу,

перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і впливу нерівностей, що виникли на з'єднанні поверхні (схоплення другого роду). При терті поверхонь, що сполучаються, адгезійний зв'язок робить внесок у силову взаємодію. Розрив фрикційного зв'язку відбувається по площинах максимальної дотичної напруги і локалізується для шорстких поверхонь у тілі мікронерівностей. Зношування при схоплюванні проявляється за відсутності мастильних плівок та поверхневих структур, що локалізують лінії пластичного перебігу в тонких поверхневих шарах. У цих випадках площини максимальної напруги поширюються в більш глибокі від поверхні контакту шари і 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 сил, що рухаються, відносний рух деталей припиняється і відбувається задир з'єднаної пари. Такий вид зношування є катастрофічним, що призводить до швидкого виходу з ладу вузла тертя. Аналіз причин несправності деталей типу «вал» показав, що здебільшого (понад 70 %) основних дефектів є зношування деталей, які працюють у трибо сполученнях вал – підшипник [2]. Особливо такий характер зношування поверхонь характерний для пар тертя - підшипник ковзання.

Даний тип підшипників застосовується обмежено і лише в тих областях, де він зберіг свої переваги, а саме: для швидкохідних валів, в режимі роботи яких довговічність підшипників кочення дуже мала; для осей і валів, що вимагають дуже точної установки; для валів дуже великого діаметра (за відсутності стандартних підшипників кочення), коли за умовами збирання підшипник має бути роз'ємним; під час роботи підшипника у воді, агресивному середовищі; для тихохідних валів невідповідних механізмів та у особливих умовах. Підшипники ковзання виготовляють з таких матеріалів, які мінімізують втрати на тертя та знос їх та валу, а так само вони мають бути досить

жорсткими та міцними. Для зменшення тертя та нагрівання, підвищення ККД підшипники змащують [3].

В автомобільній техніці сполучення типу вал - підшипник ковзання застосовують у циліндро-поршневій групі (колінчастий вал - вкладиші - блок двигуна, поршневий палець - шатун), в голівці блоку циліндрів (ГБЦ) (розподільний вал - ГБЦ), у підвісці автомобіля (шкворень - цапфа поворотного кулака), у турбокомпресорі (вал ротора - втулка підшипника). При експлуатації автомобілів у цих поєднаннях виникає природне зношування, що призводить до поломки та виходу з ладу даного вузла або всього агрегату. У ході ремонту більше 50% випадків крім зносу корпусної втулки потрібно заміна чи відновлення валу, і навіть через знос, причому ціна втулок становить 5-10% вартості самих валів.

У зв'язку з цим відновлення валів у поєднаннях з підшипником ковзання та вибір методів відновлення є актуальним завданням.

1.2. Аналіз актуальності проблеми відновлення вала ротора ТКР при ремонті

1.2.1. Аналіз функціонування та перелік основних спрацювань ТКР

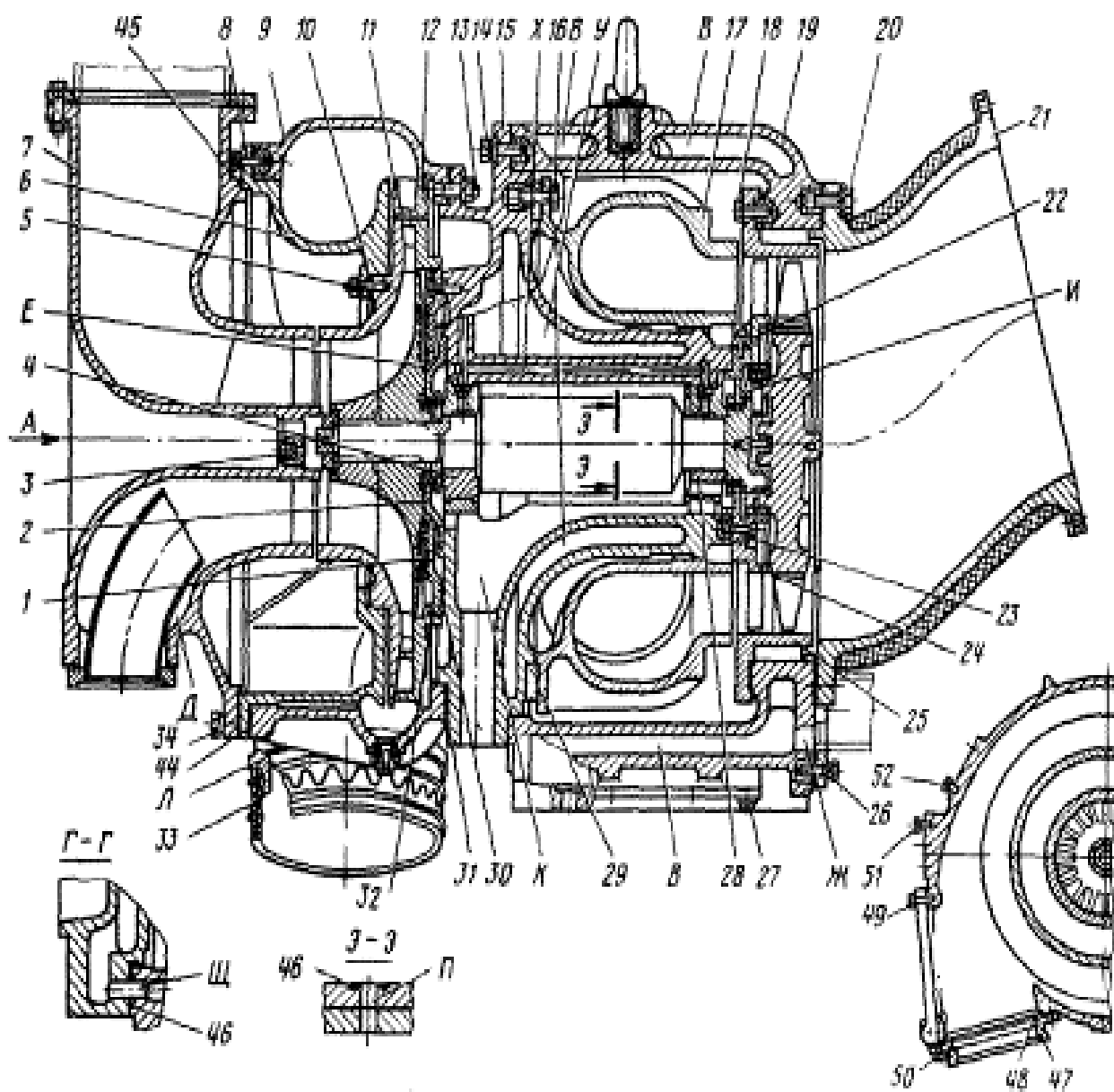
Призначення ТКР (рис. 1.2.) полягає в подачі повітря в дизельний двигун під надлишковим тиском з метою збільшення потужності та економічності дизеля. Конструктивно він розташований на кронштейні з переднього торця дизеля і складається з одноступінчастої осьової турбіни, що працює за рахунок енергії випускних газів, та одноступінчастого відцентрового компресора. Колесо компресора та диск турбіни змонтовані на одному валу ротора.

Основний принцип функціонування ТКР: відпрацьовані гази надходять з циліндрів двигуна по колекторам і в газовому равлику поступають до соплового апарату, в котрому розширюються і при цьому набувають напрямку і високу швидкість руху, направляються на лопатки робочого колеса турбіни, забезпечуючи її обертання. Після цього відпрацьовані гази з турбіни виходять випускним патрубком в глушник, а потім в атмосферу.

При обертанні ротора повітря засмоктується через вхідний патрубок в колесо компресора, де повітрі повідомляється додаткова кінетична енергія і відбувається основне підвищення тиску в дифузорі та повітряному равлику внаслідок зменшення швидкості повітря тиск додатково підвищується.

З компресора повітря подається в охолоджувач наддувного повітря і далі циліндри дизельного двигуна. Статор ТКР складається із середнього корпусу, корпусу турбіни та корпусу компресора.

Середній корпус складається з корпусу 15 і газового двозахідного равлика 17, У середньому корпусі встановлені бронзові опорно-упорний підшипники 4 і опорний 28, які складається з двох половин, центруються втулками 35 і кріпляться болтами 39 до нижньої половини корпусу; сопловий апарат 24 та лабіринт.



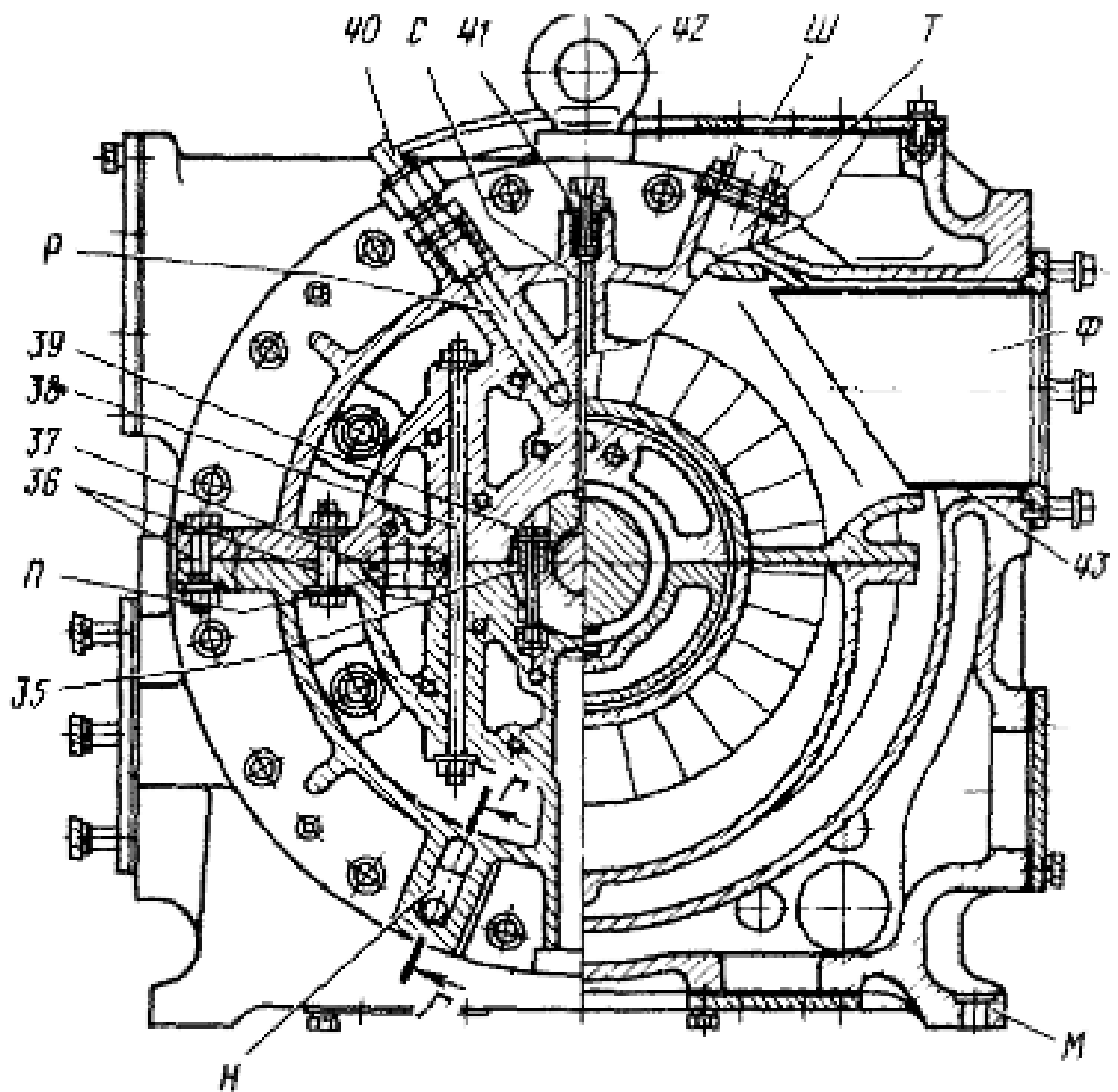


Рисунок 1.2 – Турбокомпресор: 1, 2, 29 - фланці; 3 - пробка; 4 - підшипник опорно-упорний; 5, 38 - шпильки; 6,11 - проставки; 7 - патрубок вхідний; 8, 13, 14, 16, 18, 20, 24, 36,3 9 - болти; 9 - равлик повітряний; 10 - прокладка регулювальна; 12,25 - дифузори; 15, 19 - корпусу; 17 - равлик газовий; 21 - патрубок випускний; 22 - штифт; 23, 35 - втулки; 24 - сопловий апарат; 26 - шайба; 27 - вкрутиш; 28 - підшипник опорний; 30, 31, 44, 45 - прокладки; 32, 37 – кільця гумові; 33, 40 - рукава; 41 - штуцер; 42 – рим - болт;

43 - труба жарова; Д,Н,С,Х,Т-канали; В,Е,І,К,Л,У - порожнини; Ж, П, Р, Ф, Ш - отвори; М – опорна лапа.

Опорні поверхні підшипників покриті сплавом олова та свинцю; торці опорно-упорного підшипника мають бабітову заливку, змащуються підшипники олією. Надходить з масляної системи дизеля через штуцер 41. З підшипників масло зливається в порожнину і далі в картер дизеля.

Корпус 15 охолоджується водою, що надходить каналом І. Стик у районі отворів і для перетікання води ущільнений гумовими кільцями 37. З корпусу вода виходить каналом М в холодильну камеру тепловоза.

Корпус турбіни має корпус 19, дифузор 25 та випускний патрубок 21, який покритий теплоізоляційним матеріалом. У корпусі турбіни 19 знаходяться так звані «жарові труби» 43 котрі слугують для проходження випускних газів з випускних колекторів у газовий равлик. Корпус турбіни охолоджується водою, що надходить із системи охолодження дизеля по отвору Ж в порожнину корпусу і виходить з нього через отвір Ш.

Корпус компресора складається з повітряного равлика 9, вхідного патрубка 7 і дифузора лопатки. Дифузор має простак 11 і приклепаний до нього диск з лопатками. Порожнина за колесом компресора відокремлюється від порожнини за дифузором гумовим кільцем 32. Вхідний двозахідний патрубок, має канал Д, по якому газу відсмоктуються з картера дизеля.

Ротор складається з валу, колеса компресора з направляючим апаратом, що обертається (ВНА), диска турбіни з робочими лопатками, завзятої і лабіринтової втулок. Шийки валу ротора, завзятий торець валу і канавки під кільця ущільнювачів азотовані для підвищення їх твердості і зносостійкості.

Колесо компресора спрягається з шліцами методом натягу. У струмках на валу та розпірній втулці встановлені розрізні кільця ущільнювачів. Система ущільнень служить для запобігання попаданню олії та газових і повітряних порожнин ТКР, а також для зменшення витоків газу і повітря в масляну порожнину підшипників і далі в картер дизеля. Порожнина високого тиску за

колесом компресора ізольована від масляної порожнини лабіринтовим ущільненням, що перешкоджає просочуванню випускних газів масляну порожнину.

Для запобігання зносу ущільнювальних повітряних кілець з порожнини повітря випускається через отвір Р та рукав 40 в порожнину всмоктування ТКР. З метою зниження витоку випускного газу і масляну порожнину та запобігання підсмоктування олії в порожнину турбіни па режимах малих навантажень дизеля і порожнину та по отвору в корпусі підводиться повітря із порожнини високого тиску за колесом компресора.

Характерні ушкодження та зноси ТКР, причини їх виникнення.

Ушкодження ТКР пов'язані переважно з відкладеннями нагару на поверхнях деталей газового тракту, що призводить до погіршення відведення теплоти деформації деталей та механічних поломок.

До основних несправностей турбокомпресорів відносяться:

- знос опорних шийок валу;
- знос підшипників ковзання;
- знос ущільнюючих кілець валу та гребінців лабіринтних ущільнень;
- знос і короблення лопаток турбінного колеса, лопаток компресора та соплового апарату.

До характерних несправностей також слід віднести утворення нагару в газових порожнинах, на лопатках турбіни і соплового апарату, у вузлах лабіринтних ущільнень, а також утворення сольових відкладень та накипу в порожнинах системи охолодження турбіни. Можливі несправності у вигляді прогину валу ротора, вигоряння металу в зоні гострих кромek лопаток турбінного колеса, тріщин у корпусі ТКР.

В загальному згідно спостережень та даних літературних джерел доля відмов ТКР в загальних відмовах двигуна складає близько 26% (рис. 1.3)

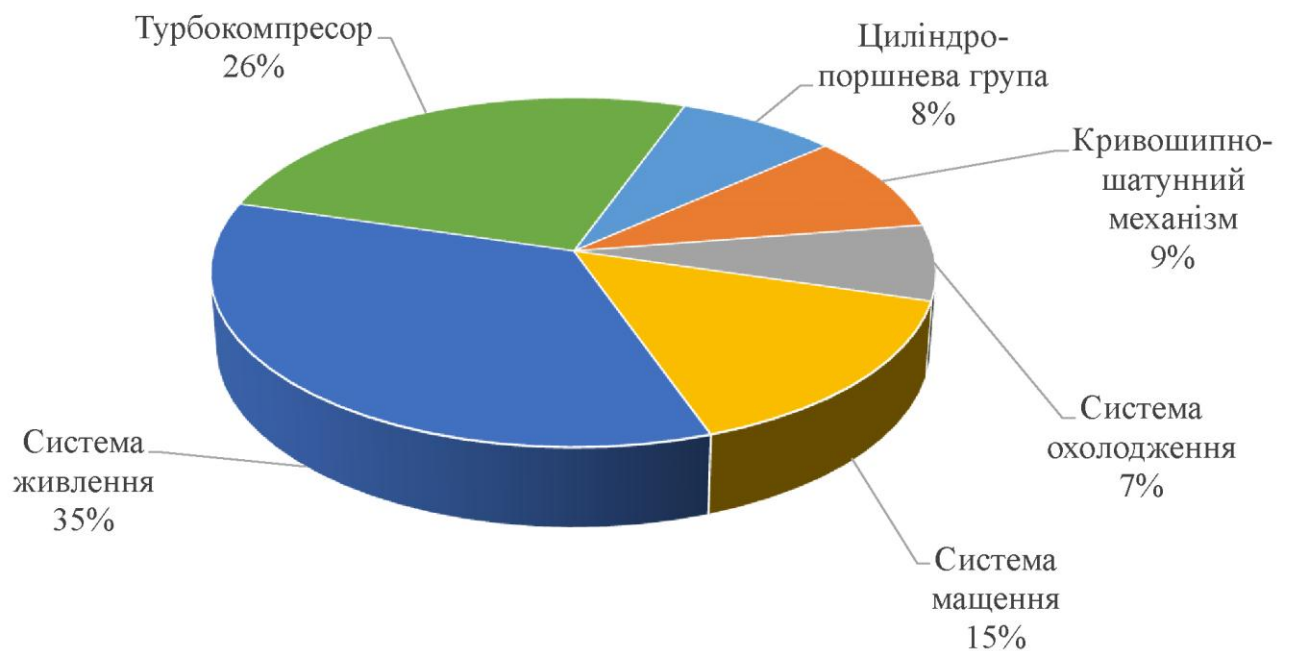


Рисунок 1.3 - Доля відмов ТКР в загальних відмовах двигуна

При цьому зазначено значний вплив режимів роботи на відмови ТКР (рис.1.4)

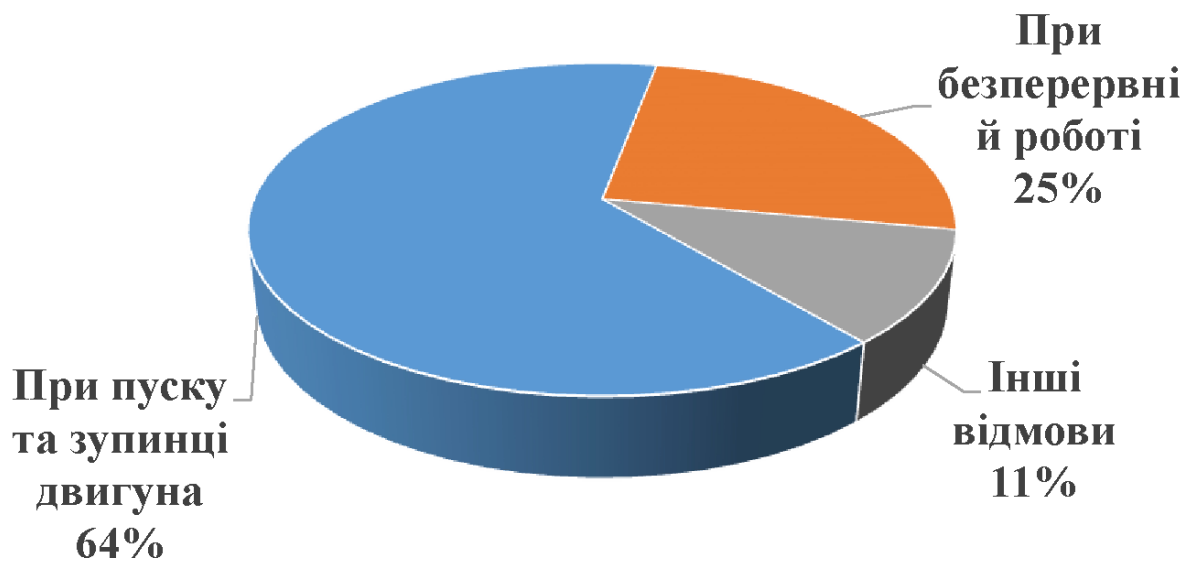


Рисунок 1.4 - Вплив поточних режимів роботи на відмови ТКР

Конструкції імпортованих та вітчизняних турбокомпресорів (ТКР) у своїй основі є ідентичними. У розташуванні окремих елементів і розмірах деталей спостерігаються відмінності, т.к. вони призначені до роботи з різними двигунами. У різних модифікацій ТКР одного типорозміру відрізняються в основному корпус турбіни (розрахунок підведення вихлопних газів та кріплення на двигуні), рідко корпус компресора, колеса компресора та турбіни;

кут повороту корпусу компресора, турбіни та середнього корпусу відносно один одного.

Турбокомпресор складається з трьох частин: корпусу ТКР (компресорного равлика), середнього корпусу (картриджа), який являє собою підшипниковий вузол і корпус турбіни (равлик турбіни). Картридж складається з валу ротора з турбінним та компресорними колесами. Обертання відбувається в підшипнику ковзання; стаціонарного корпусу, що забезпечує підведення мастильного матеріалу у вузол тертя валу (рисунок 1.5).



1 - корпус компресора, 2 - середній корпус , 3 - корпус турбіни

Рисунок 1.5 - Турбокомпресор Garrett GT 2049 S для двигуна 2.0 TDI Transit V.

1.2.2. Спрацювання та методи відновлення вала ротора ТКР.

Спрацювання вала ротора ТКР є основною причиною вигоду з ладу агрегата (рис. 1.5)

Найчастіше у ротора ушкоджуються лопатки турбінного колеса, слабшає в посадці колесо компресора та згинається вал.

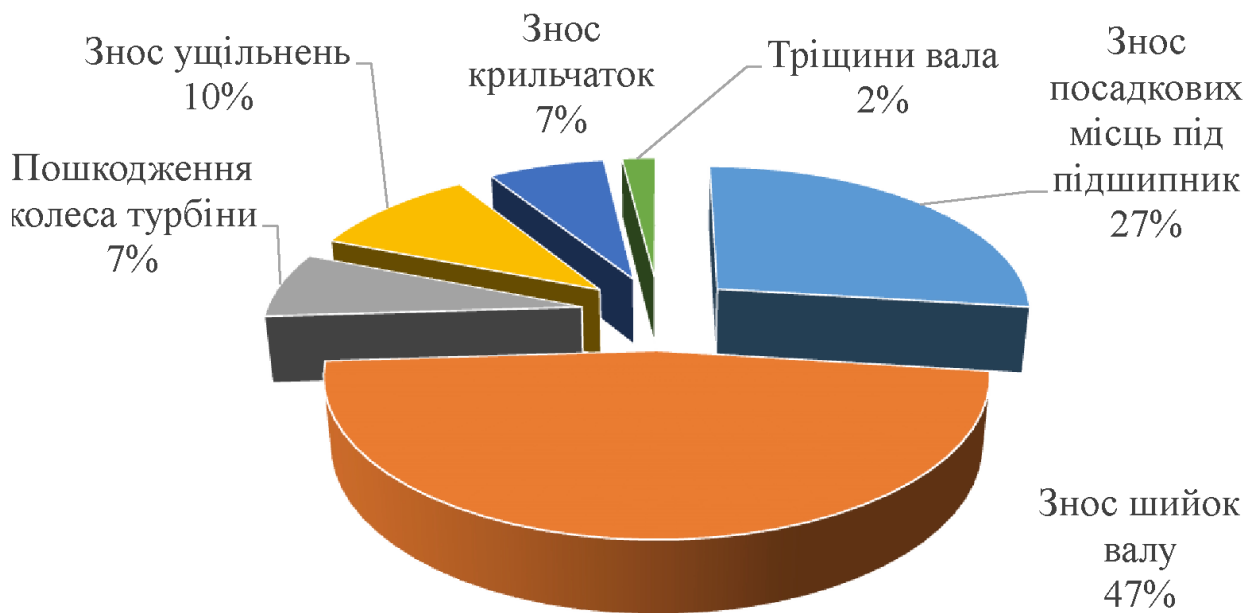


Рисунок 1.6 - Характер розподілу відмов ТКР

Ушкодження лопаток, одностороннє зношування, вигин або викривлення відбуваються внаслідок попадання в газовий тракт сторонніх предметів (частин поршневих кілець, що відкололися, шматочків нагару і т. п.), через торкання лопаток нерухомих частин при прогині валу ротора. Незначні ушкодження лопаток усувають зачисткою дефектних місць. Лопатки підбирають за шаблоном, вихідна кромка лопатки при цьому не повинна мати хвилястість.

Ротор із сильно пошкодженими лопатками, з'єднаними з диском турбіни зварюванням, замінюють. У ротора, лопатки якого з'єднані з диском турбіни шліцями типу «ялинка», замінюють пошкоджені лопатки та замкові пластини, що мають надриви. Для цього відгинають замкову пластину і вибивають із диска пошкоджену лопатку.

Замість негідної підбирають лопатку, що відрізняється за масою не більше ніж на 1-3 г. У паз диска завадять нову замкову пластину і забивають підібрану лопатку.

Акуратно загинають та притискають кінці замкової пластини до диска. Гойдання кінця знову встановленої лопатки в площині диска допускається до 1,3 мм, а осьове переміщення лопатки до 0,3 мм. Після заміни лопаток або

замкових пластин ротор піддають динамічного балансування. Динамічне балансування зазвичай піддають деталі, довжина яких дорівнює або більше їх діаметра.

У процесі роботи турбокомпресор зазнає великих температурних і знакозмінних навантажень. Номінальні частоти обертання валу ротора сучасних ТКР становлять до $60\,000\text{ хв}^{-1}$. Температура газів із випускного колектора досягає 700°C , а температура деталей корпусу становить $90 - 160^{\circ}\text{C}$ з компресорної сторони і $670-0720^{\circ}\text{C}$ - з боку турбіни.

Втулка підшипника приймає навантаження при обертанні валу ротора як і осьовому, і у радіальному напрямі, тобто. одночасно є радіальним підшипником. Маслоподача під тиском із системи змащення двигуна необхідна для змащення підшипників [3, 13].

Проаналізувавши джерела інформації несправностей ТКР, встановлено, що більше 90% дефектів виникає через поломку картриджа, а саме аварійним зношуванням у сполученнях вал ротора - підшипник. Заміна даного несправного вузла на новий становить близько 70.80% вартості ТКР і не завжди можлива у зв'язку з відсутністю у продажу, тому що виробники ТКР, особливо імпорتنі, поставляють свою продукцію тільки в зборі. На ринку запасних частин для турбокомпресорів представлений вибір деталей аналогів для оригінальних ТКР, таких, як картридж і окремі деталі - вал ротора і підшипник ковзання. Але з перерахованих деталей високим попитом користується підшипник ковзання у зв'язку з тим, що він має невисоку вартість. Вал ротора є більш складною у виготовленні та відповідальною при експлуатації ТКР деталлю, тому вартість його становить близько 40.50% вартості ТКР і виробник даного аналога не дає гарантії на термін служби деталі. У зв'язку з цим за об'єкт реновації був взятий вал ротора ТКР на прикладі ТКР фірми Garrett GT 2049 S для двигуна 2.0 TDI DuraTorq автомобіль M Transit V.

Вал ротора (рисунок 3.21) обраної моделі ТКР виготовлений зі сталі 30ХГСА з наступним загартуванням ТВЧ до твердості не менше HRC $\wedge$.

Необхідно виконувати алмазне вигладжування опорних поверхонь валу, шорсткість їх не повинна перевищувати $R_a 0,32$ мкм, конусність та овальність не більше 0,005 мм, точність виготовлення відповідає 6 квалітету. У процесі роботи зношуються опорні поверхні валу ротора під підшипник D1. Втулка ущільнення валу ротора виготовляється із сталі 45Х (допускається 40Х) після загартування та відпуску HRC 39-45. Напресовується у нагрітому стані на вал ротора. Зношується торець втулки та канавки під кільця ущільнювачів по ширині b_1 і b_2

На рис. 1.7. показаний статично відбалансований ротор, у якого маса врівноважена вантажем M .

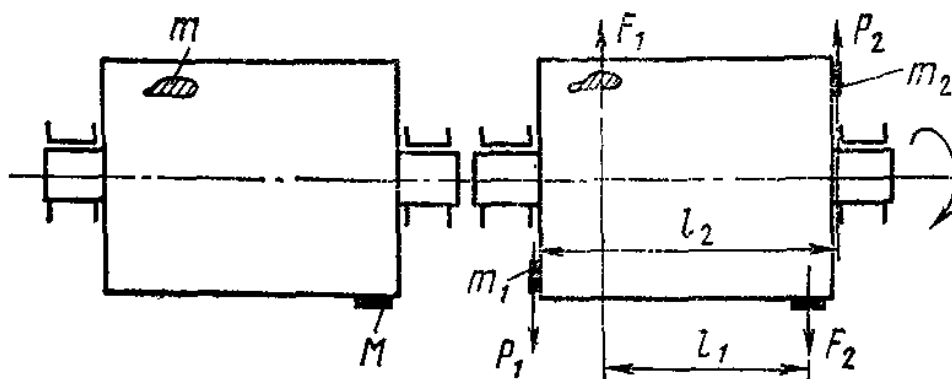


Рисунок 1.7 - Схема динамічного врівноважування деталей

Цей ротор при повільному обертанні перебуватиме в рівновазі в будь-якому положенні. Однак при його швидкому обертанні виникнуть дві рівні, але протилежно спрямовані відцентрові сили F_1 і F_2 . При цьому утворюється момент $F_1 l_1$, який прагне повернути вісь ротора на деякий кут навколо його центру тяжіння, тобто спостерігається динамічна нерівновага ротора з усіма наслідками, що звідси випливають (вібрація, нерівномірний знос і т. п.).

Для врівноваження моменту від дії цієї пари сил можна лише дією іншої пари сил, котра діє в тій же площині і створює рівний притидіючий момент. Для цього в нашому прикладі потрібно додати до ротора в тій же площині (вертикальній) два вантажі масами $m_1 = m_2$ на рівній відстані від осі обертання.

Вантажі та їх відстані від центру обертання підбирають так, щоб відцентрові сили від цих вантажів створювали момент $P_1 l_2$, що протидіє моменту $F_1 l_1$ і врівноважує його. Найчастіше врівноважують вантажі прикріплюють до торцевих площин деталей або з цих площин видаляють частину металу. Допустимий небаланс 2,5 гсм. Нормальну посадку колеса компресора на роторному валу з натягом 0,07-0,11 мм при необхідності відновлюють.

Вигин валу ротора перевіряють індикаторним пристроєм при обертанні ротора в центрах. Биття центральної частини валу ротора, що перевищує 0,05 мм, усувають термічною або механічною правкою. Тобто укороченням волокон опуклої сторони або подовженням стиснених волокон увігнутого боку.

Вкорочують волокна швидким місцевим нагріванням (400-500°C) опуклої сторони шийки. Стиснуті волокна (з увігнутого, холодного боку шийки), що знаходяться під напругою, спочатку перешкоджатимуть подальшому розширенню нагрітих волокон, а коли температура останніх перевищить межу плинності, стислі волокна почнуть випрямляти вал. Нагрів ведеться двома газовими пальниками. Як при нагріванні, так і при охолодженні неприпустимі протяги. Процес нагріву та повільного охолодження повторюють до усунення прогину.

Подовжують стислі волокна карбуванням увігнутої ділянки шийки валу ручним або пневматичним молотком з кульовою головою.

Пошкоджені шийки валу (під підшипники) виправляють механічною обробкою на верстаті під ремонтний розмір, а нормальний розмір відновлюють залишенням з подальшим покриттям хромом або додатковою постановкою деталі.

Залізнення. Технологічний процес залізнення має багато спільного із процесом хромування. Він також складається з трьох етапів: підготовки, покриття та подальшої обробки деталі. Залізнення застосовують для відновлення деталей з нерухомою посадкою без додаткової термічної обробки,

для створення підшару (при відновленні деталей з великим зносом) при подальшому хромуванні і відновлення деталей з подальшою термообробкою поверхневого шару.

Переваги залізнення: збереження структури металу деталі – процес ведеться за нормальної температури трохи більше 100°C ; можливість отримання досить твердого шару без термообробки

Для зміцнення та відновлення деталей, інструментів та технологічного - оснащення застосовуються багато методів обробки матеріалів, класифікованих за технологічним, т. є. способам впливу на металеву поверхню, матеріалом, т. є. характеру зміни поверхневого шару та інших ознак [23-26].

У цій роботі зупинимося на розгляді способів відновлення та зміцнення деталей (табл. 1.3) з матеріалознавчих позицій [23]. Тут, використовуючи класифікацію Г. М. Дубініна [23], ми умовно розділимо все різноманіття методів відновлення та зміцнення металевих поверхонь на дві групи:

I. Методи обробки без зміни хімічного складу поверхні, але зі зміною структури, що реалізуються без накладання захисних шарів і застосовуються при зміцненні поверхні.

II Методи обробки зі зміною хімічного складу поверхні та її структури, які використовуються як при відновленні розмірів зношених деталей та інструментів, так і при їх зміцненні.

До першої групи належать такі методи (табл. 1.3):

- поверхнево-пластичне деформування (ППД), яке здійснюється - різними способами і забезпечує отримання ефекту за рахунок наклепу поверхні;
- поверхневе загартування у вакуумі або звичайному середовищі, що сприяє утворенню дрібнодисперсної структури;
- електрофізичні методи у вигляді магнітної обробки переважно - сталей з підвищенням однорідності їх структури та теплостійкості та у вигляді ультразвукової обробки зі створенням у матеріалі надлишкової кількості

недосконалостей кристалічної будови (дислокацій, вакансій, перерозподілу домішкових атомів).

Таблиця 1.1. - Методи відновлення та зміцнення металевих поверхонь

Групи методів	Методи
1-я група -методи обробки без зміни хімічного складу поверхні, але із зміною структури. Без накладання захисних шарів (зміцнення)	
Поверхнево - пластичне деформування (ППД)	- вигладжування, (в т. ч. алмазне), обкатка, розкочування; - дробоструминна обробка; - віброударна обробка; роздача, роздача з одночасною витяжкою; розкочування, дорнування та калібрування, протягування, осадка, правка, накатка, обжим, карбування.
Поверхнева загартування	- у вакуумі; - у звичайному середовищі
Електрофізична обробка	- магнітна обробка швидкорізальних сталей - ультразвукова обробка
II-я група - методи обробки із зміною хімічного складу поверхні та її	
А. Хіміко термічна обробка без накладання захисних шарів (зміцнення)	- дифузійне насичення азотом; - те саме азотом та вуглецем; - те ж бором, хромом та ін.

Продовження таблиці 1.1

Б. Методи накладення захисних шарів (відновлення та зміцнення)	Гальванічні методи: - залізнення; - хромування; - нікелювання та ін. Газотермічні методи: - полум'яне порошковими матеріалами без оплавлення - те саме з оплавленням; - плазмове напилення порошкових матеріалів; - плазмове напилення дротом суцільного перерізу; - детонаційне напилення; - дугове; - високочастотне; - холодне газодинамічний напилення . Зварювальні та наплавні методи: - дугова під флюсом; - дугова у вуглекислому газі; - дугова з газополум'яним захистом; - вібродугова; - дуговий порошковим дротом чи стрічкою; - дугова серед аргону; - контактна; - газова; - плазмова;
---	---

	- багатоелектродна під флюсом; - лежачим електродом; - електроімпульсна; - електродшлакова; - рідким металом; - з одночасним деформуванням; - з одночасним різанням; - високочастотна; - високочастотна у вогнетривкому середовищі. Електрофізичні методи: - лазерна обробка; - електроіскрова обробка у газовому середовищі або вакуумі; - іонно-плазмове напilenня (реактивне електронно-променеве - РЕП) ; - активоване реактивне напilenня; - іонізаційне; - конденсація речовини з плазмової фази в умовах іонного бомбардування - КІБ)
--	---

До другої групи віднесемо методи без накладання захисних шарів, що застосовуються для зміцнення поверхні, а саме хіміко-термічну обробку (дифузійне насичення поверхні азотом, азотом та вуглецем, бором, хромом та іншими елементами). Ефект зміцнення досягається за рахунок низько енергетичного впливу теплової енергії на поверхню зміцнюючої речовини в атомарному стані.

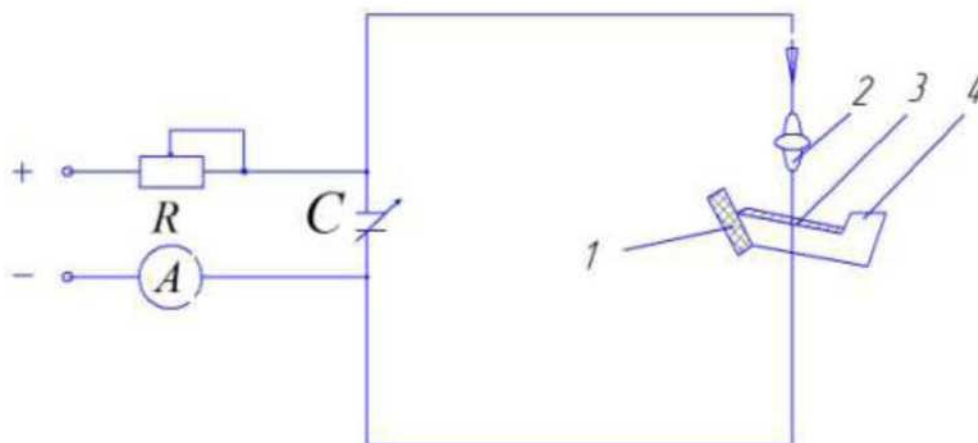
До цієї ж групи віднесемо широке коло методів з накладенням захисних шарів, що застосовуються для відновлення та зміцнення поверхні. Це відомі - гальванічні, газотермічні, електрофізичні, зварювальні та наплавні методи. Накладення захисних шарів із зміцненням поверхні тут здійснюється залежно

від методу обробки шляхом низько-або високоенергетичного впливу теплової енергії на поверхню металу зміцнюючої (відновлювальної) речовини в атомарно-молекулярному або рідкому стані.

1.3. Сутність, переваги та недоліки електроіскрового легування

Одним із перспективних методів відновлення циліндричних поверхонь деталей автомобіля, у тому числі деталей типу «вал» є метод ЕІО, через малу глибину проплавлення (30-100 мкм), велику концентрацію енергії в плямі нагріву та високу зносостійкість покриттів.

Електроіскрова обробка полягає в легуванні поверхневого шару металу виробу, що є катодом, матеріалом електрода (анода) при іскровому розряді повітряного середовища (рис.1.7). В результаті хімічних реакцій легуючого металу з дисоційованим атомарним азотом і вуглецем повітря, а також з матеріалом деталі, в поверхневих шарах утворюються загартовані структури і складні хімічні сполуки (високодисперсні нітриди, карбонітриди і карбіди), виникає дифузійний зносостійкий шар.



1 - графітова пластика; 2 - зміцнювальний електрод (анод),
3 - зміцнююча поверхня (деталь - катод); 4 - корпус інструменту

Рисунок 1.8 - Принципова електрична схема пристрою для ЕІО

1.4. Установки для електроіскрового легування

Процес ЕІЛ реалізується за допомогою ручних, механізованих та автоматизованих (роботизованих) установок.

Відомі сучасні установки: ASAP, Electroarc, Mold Doctor (США); Depozitron, Tucadur 2000, Eroleg (Німеччина); SNPM1 (Франція); Cosmeca A.G., Carbidor, MSR-FC (Швейцарія); Wocafix (Швеція); Duromatic (Угорщина); Depositron-720, -820, Spark-Дсро mod. 500, 300, 200, Micro-Depo mod. 100, 140 (Японія); Rocklinizer mod. 500, 600, 1000 (Південна Корея); D9105A, D9110A, D9130A, SZ-08, XKS-350 (Китай); ARC1, ARC2, ARC3 (Індія); Impuls-01, ПЕЛ-23, Alier-31, -52, -53, -54, -55, -72, -101, РУЕІЛ-2006 (Молдова) та виробництва РФ типу «БІГ» (Москва), «ІЛ» (Санкт-Петербург), «Інтал» (Єкатеринбург), «SE» (Томськ), «ІМ» (Хабаровськ).

Деякі приклади сучасних ручних установок ЕІЛ наведено на рис. 1.9.

Порівняння параметрів сучасних установок ЕІЛ показує, що потужність їх зазвичай не більше 2 кВА, вони складаються з генератора імпульсів і інструменту (обробного пристрою) з вібруючим або обертовим електродом. У відповідності до технічних параметрів установки забезпечують нанесення ЕП завтовшки від десятків мікрметрів до 1 мм (локально – до 3 мм), при продуктивності обробки поверхонь від 1,2 до 10 см/хв.



Рисунок 1.9 - Приклади ручних установок ЕІЛ вітчизняного та зарубіжного виробництва [13]

Основна принципова відмінність генераторів установок типу «Елітрон» минулого століття та генераторів сучасних установок полягає у використанні нових електричних елементів з покращеними характеристиками. Більш суттєві зміни сталися з електрод-інструментами установок. Сьогодні знаходять більше застосування інструменти з електродом, що обертається, що ми спостерігаємо в американських, японських, деяких російських установках, а також інструменти із застосуванням ультразвуку.

Слід зазначити відсутність у установках єдності керованих параметрів процесу ЕІЛ, що дозволяє об'єктивно порівняти ці установки між собою. Як наголошую вище, в деяких з них передбачено обмежене управління, наприклад, тільки потужністю або енергією імпульсів, в інших ширше управління, включаючи параметри імпульсів, частоту їх прямування та ін. Це говорить про відсутність методології призначення керованих параметрів процесу ЕІЛ при створенні установок, що викликає проблеми при використанні установок різних виробників та моделей для вирішення однотипних завдань, особливо в умовах нестачі фахівців та відповідних технологічних рекомендацій.

З вказаного ряду обладнання має найбільш високу універсальність для роботи в ручному режимі встановлення «БІГ-5» [43]. У табл. 1.2 наведено порівняльні технічні характеристики цієї установки з аналогом минулого покоління та сучасними зарубіжними установками.

Таблиця 1.2 - Порівняльні параметри установок ЕІЛ

Характеристики	БИ Г-5	Элитрон-52Б *	WOCAFIX (Швейцарія) [44]	DEPOSITRON 820 (Японія) [45]	Microdcpo (США) [46]
Потужність, що споживається, кВт	0,5	4,5	0,2	0,155	0,5
Напруга мережі живлення (В) при частоті 50 Гц	220	220	220	100-240 при 50—60 Гц	100; 110; 200; 220

Частота вібрації електрода, Гц	600	100	даних немає	даних немає	даних немає
Енергія імпульсів, Дж	0,11-10	0,05-10,71	даних немає	даних немає	даних немає
Частота імпульсів, Гц	5-1600	100	даних немає	даних немає	45-1000
Кількість електричних режимів	70	12	плавне регулюв.	даних немає	3 (U=50; 100; 150 В)
Товщина покриття твердим сплавом, мм	0,01-0,5	0,01-0,7	0,002-0,04	0,03	max 0,05
Висота нерівностей профілю покриття Ra, мкм	Ra2,0-Rz260	Ra2,0-Rz320	даних немає	даних немає	Rmax 3-50
Максимальна продуктивність, см ² хв	10	10	3	1,5-3	даних немає
Габаритні розміри (мм): генератора віброзбудника (без кабелю)	160x320x360 150x90x45	650x600x1100 220x110x60	даних немає	270x330x165 даних немає	255x400x320 даних немає
Маса (кг), не більше: генератора, віброзбудника (без кабелю)	14 0,25	150 0,45	біля 4 даних немає	12 даних немає	15,8 даних немає

1.5. Електродні матеріали для ЕІЛ

Як наплавочні електродні матеріали для ЕІЛ можуть бути використані матеріали, наведені на рис. 1.4 [10].

До першої групи матеріалів відносяться карбідні, нітридні, боридні та керметні сполуки тугоплавких металів, що мають малу кількість металевої зв'язки. Туди ж належить досить велике коло металокерамічних твердих сплавів: вольфрамо кобальтових (типу ВК), титано вольфрамо кобальтових (типу ТК), титано тантало вольфрамо кобальтових (типу ТТК), склад яких регламентований ГОСТ 3882-74, а конструкція та розміри визначені ГОСТ 25416-90 та ГОСТ 25425-90. До цієї групи належить і низка марок безвольфрамових твердих сплавів типу ТН-20, КНТ-16, І-3, близьких по своїм характеристикам металам групи ТК.

Хороший шар покриття утворюють матеріали, що належать до першої групи. Внаслідок їх досить малої хімічної активності вони найменше чутливі до складу навколишнього середовища, а також до матеріалу виробу. Дані покриття мають мінімальну схильність до схоплювання при терті (особливо якщо дані матеріали не мають металевої зв'язки) і надають поверхням високу твердість і зносостійкість. Проте їх відносно високий коефіцієнт тертя (0,3 ... 0,7) не завжди може дозволити використовувати дані покриття для деталей тертя без додаткової обробки, що знижує коефіцієнт тертя [11].

Відповідно до молекулярно-механічної теорії тертя, для забезпечення низького тертя і малого зносу необхідно, щоб міцність виникають молекулярних зв'язків поверхонь тертя була меншою за міцність нижчих шарів. У парі тертя така вимога може бути реалізовано нанесенням м'яких металевих покриттів та мастил.

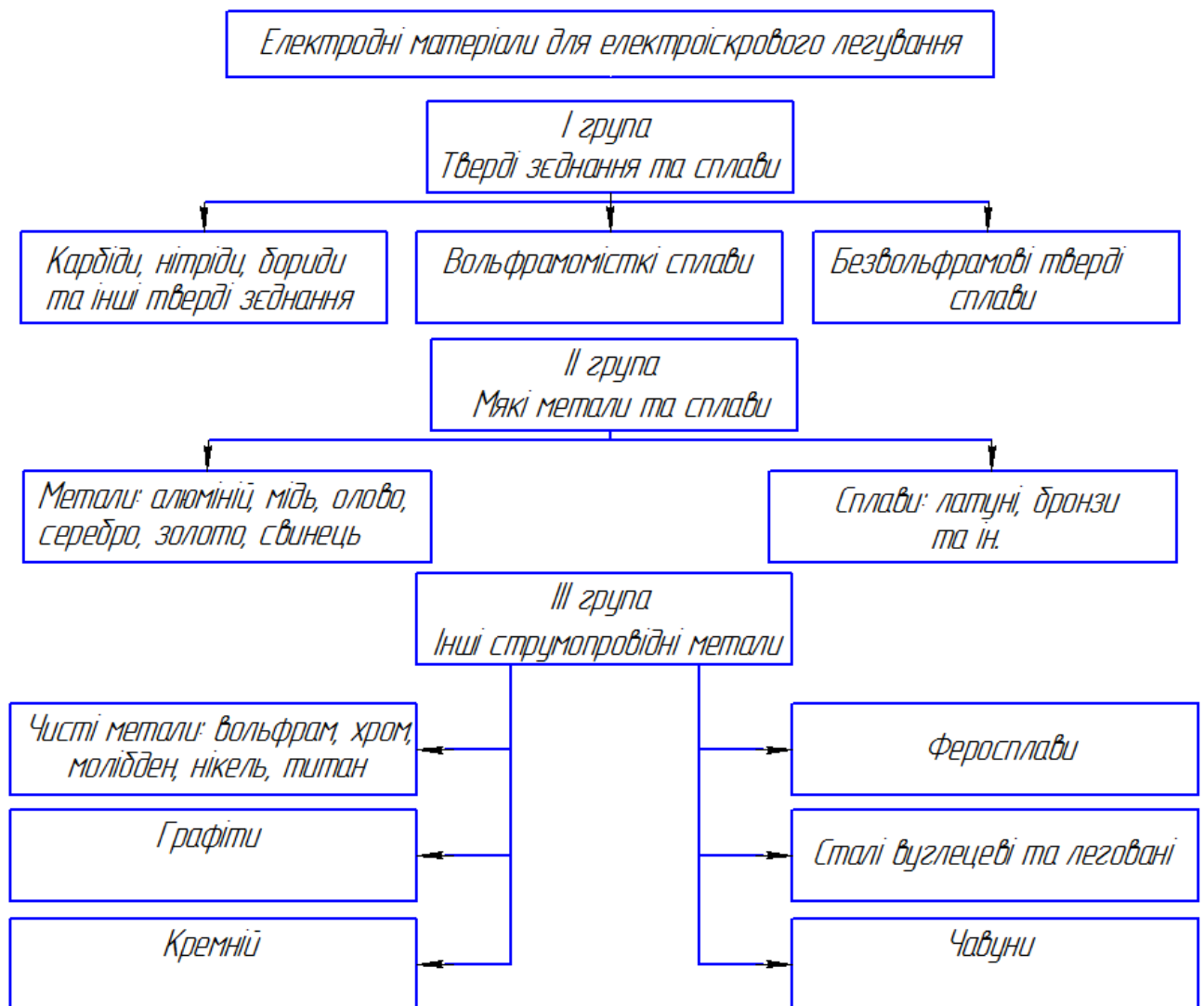


Рисунок 1.10 - Електродні матеріали для ЕІЛ

До другої групи електродних матеріалів входять м'які метали та їх сплави, саме: алюміній, мідь, срібло, золото, свинець, олово та інших.

Важливість методу ЕІЛ щодо інших способів нанесення покриттів вище переліченими матеріалами полягає у високій міцності зчеплення покриття з основою, а також можливості нанесення даних матеріалів у заключній стадії обробки виробу.

При нанесенні даних матеріалів на оброблювану поверхню утворюється м'який антифрикційний та антикорозійний шар, що знижує коефіцієнт тертя пар ковзання, що підвищує надійність роботи сполучення. Покриття з цих матеріалів мають високу електропровідність, а легування алюмінієм підвищує твердість, а також жаростійкість поверхонь виробу.

До третьої групи електродних матеріалів відносяться метали, а саме: вольфрам, титан, молібден, хром, залізо, кобальт, нікель і т.д., а також сплави на їх основі, включаючи феросплави.

У цій групі спостерігається досить велика відмінність у здатності металів осідати на виробі при електроіскрових розрядах, яке обумовлено як властивостями самих матеріалів, так і їх чутливістю до хімічного складу матеріалу виробу, який обробляється. Також різняться і експлуатаційні характеристики формованих покриттів, так вольфрам відмінно наноситься на струмопровідний матеріал у досить великому діапазоні електричних режимів, але в результаті покриття виходить нерівномірним за товщиною і електрод зазвичай "залипає". Покриття, як правило, має високу зносостійкість та теплостійкість. При титановому покритті процес ЕІЛ проходить стійко, формується рівний, але відносно тонкий шар зносостійкого та корозійностійкого покриття. Молібдєнове покриття має рівномірний шар на хромистих та малолегованих сталях.

Рівномірний, але тонкий, в основному, дифузний шар утворюється на високолегованих нікелевих сплавах. Кращі покриття цим металом виходять при використанні режимів із середньою або малою енергією імпульсів. Покриття мають високу зносостійкість та корозійну стійкість. Хромові покриття виконують при обробці різноманітних по складу матеріалів виробів та формують гарне за кількістю

перенесеного металу, суцільне, а також рівномірне покриття, яке має високу зносостійкість, корозійну стійкість і жаростійкість. Для нікелевих покриттів процес ЕІЛ відбувається з «залипанням» електрода до виробу, а так само покриття нерівномірно товщині, але йому притаманні підвищені жаростійкість та корозійна стійкість. Електроди з феросплавів дозволяють наносити покриття з властивостями, близькими властивостям покриттів з монометалу, що є вихідним по відношенню до феросплаву, при цьому товщина покриття феросплавом, як правило, більше товщини покриття з монометалу.

Сталі, внаслідок їх великого різноманіття за хімічним складом, застосовуються як електроди переважно при відновленні розмірів деталей машин, забезпечуючи отримання необхідних експлуатаційних характеристик.

У кожному конкретному випадку матеріали для нанесення покриттів відбираються з умови найменшої стійкості проти ерозії. За ерозійної стійкості (у першому наближенні) чисті метали розташовуються в наступній послідовності: Zn, Ni, Ti, Zr, Al, Hf, Co, V, Fe, Cr, Nb, Cu, Ag, Ta, Mo, W[10].

1.6. Актуальність теми магістерської роботи та задачі дослідження

Літературний аналіз дав змогу встановити, що 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 та 8% - більше 1,2 мм.

Аналіз умов роботи ТКР виявив актуальність проблем ремонту ТКР та відновлення вала ротора компресора, при цьому метод ЕІО, є найбільш доцільним через малу глибину проплавлення (30-100 мкм), велику концентрацію енергії в плямі нагріву та високу зносостійкість покриттів.

Номенклатура обладнання та електродних матеріалів надає широкі можливості для вибору оптимальних параметрів технології, а застосування прогресивних наноматеріалів для електродів дозволяє значно підвищити трибомеханічні характеристики покриття і як наслідок збільшити ресурс роботи ТКР.

Все це дозволяє визнати тему магістерської роботи актуальною та визначити задачі дослідження:

1. Розробити технологію нанесення електроіскрових покриттів з застосуванням прогресивних електродних матеріалів з диспергованих нанопорошків з високою технологічною гнучкістю, дешевизною, простотою, без використання дорогих та дефіцитних матеріалів та обладнання, а також відповідає вимогам екологічної безпеки.

2. Експериментально встановити залежності впливу властивостей електроерозійних матеріалів на трибомеханічні характеристики поверхонь валів роторів ТКР.

3. Дослідити залежність впливу властивостей електроіскрових покриттів на ресурс відновлених деталей та агрегата в цілому.

4. Експериментально встановити раціональні режими нанесення зносостійких покриттів на зношені вали турбокомпресорів, що забезпечують необхідний комплекс фізико-механічних властивостей покриттям та заданий ресурс валів в цілому.

5. Вивчено характеристики зносостійкості електроіскрових покриттів валів турбокомпресорів, отриманих з використанням електроерозійних наноматеріалів.

6. Провести стендові та виробничі випробування тривалості роботи ТКР, з відновленням методом ЕІО наноструктурним електродом валом.

7. Розробити методику та технологію балансування відновленого вала ротора ТКР.

8. Впровадити розроблені технології та обладнання в КАТП «Агробудавтосервіс».

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Вибір установки для ЕІЛ

Для виконання електроіскрових покриттів використовували установку "UR-121" (виробництво фірми "PELM") (рис. 2.1). Цей прилад має енергоспоживання – 0,11 кПа; напруга 220 В, і уможливорює нанесення покриття товщиною 10-30 мкм та глибиною дифузійного шару до 50 мкм, при цьому витрата одного електрода, що застосовується 400-800 см залежно від марки електрода.



Рисунок 2.1 - Пристрій для ЕІО «UR-121»

Мікротвердість поверхнево-зміцненого шару, що наноситься даною установкою, становить 1200-1400 HV, що відповідає твердості 82-84 HRC.

Процес нанесення ЕІО покриття деталей займає 30-60 секунд 10 мм^2 в залежності від електродного матеріалу та матеріалу деталі, що відновлюється, що призводить до збільшення терміну служби від 1,5 разів і більше. Установа «UR-121» відрізняється від попередників («Елітрон» – Молдова, «Ельфа» – Болгарія, «Карбідор» – Швеція, «Тугодур» - Японія), 100% суцільністю дифузії, нижчим ступенем шорсткості обробленої поверхні та високою продуктивністю.

Установа для ЕІО «UR-121» не вимагає спеціального технічного обслуговування, відрізняється екологічною чистотою процесу, відсутністю необхідності у спеціальній підготовці оброблюваних деталей [60].

2.2. Вибір електродних матеріалів для проведення ЕІЛ

В якості електродних матеріалів для проведення електроіскрового легування використовувались спечені електроди, отримані в результаті спікання нанодисперсних порошків отриманих методом електроерозійного диспергування. Результати дослідження рентгеноспектрального мікроаналізу порошків приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати рентгеноспектрального мікроаналізу порошку швидкорізальної сталі Р6М5

Елемент	С	О	Al	Mo	V	Cr	Fe	W
Вес, %	7,145	9,5	0,15	1,95	0,64	1,9	73,37	5,17

Електрод для електроіскрового легування одержували шляхом (методом) гарячого пресування, з пропусканням високоамперного струму при температурі 950°C протягом 3 хвилин, крізь заготовлю з порошку, який був отриманий електроерозійним диспергуванням відходів швидкорізальної сталі марки Р6М5. Цей процес заснований на модифікованому методі гарячого пресування, при якому електричний струм проходить безпосередньо через прес-форму та пресовану заготовлю, а не через зовнішній нагрівач.

2.3. Вибір інструментів, пристосувань та технологічних методів для контролю стану зміцненого ротора ТКР

2.3.1 Прилади та методика дослідження коефіцієнта тертя та зносостійкості поверхні вала ротора ТКР

Коефіцієнт тертя та інтенсивність зносу поверхні зразка та контртіла вимірювали за допомогою автоматизованої машини тертя Tribometer фірми CSM Instruments (Швейцарія), керованої комп'ютером, за стандартною схемою випробування кулька - диск. Дані випробування дозволяють використовувати модель Герца, що відповідає міжнародним стандартам ASTM G99-959 DIN50324 та може бути використано для оцінки зносостійкості зразка та контртіла.

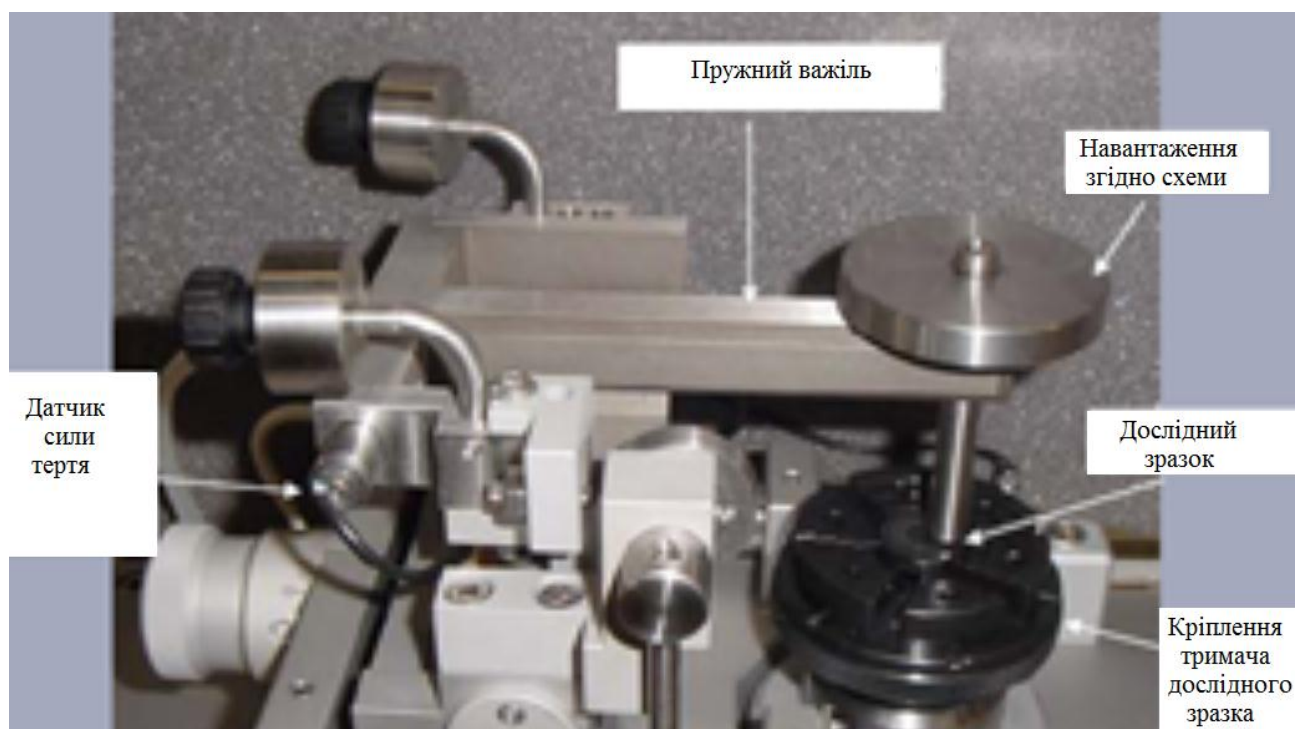


Рисунок 2.2 - Технологічна схема автоматизованої машини тертя Tribometer фірми CSM Instruments (Швейцарія)

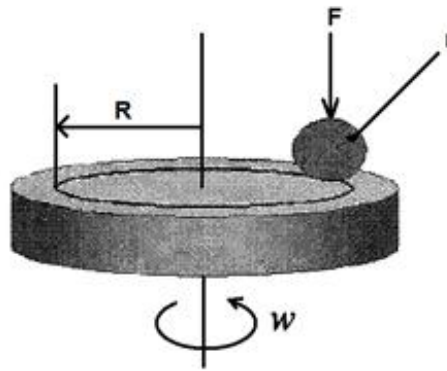


Рисунок 2.3 - Схема випробувань

Зразок встановлювали в тримачі, перпендикулярно площині зразка закріплювали стрижень, на кінці якого знаходилася куляка діаметром 6 мм зі сталі Stainless Steel AISI 420 (твердість за Віккерсом 5000-8000 HV). З допомогою регулювання датчика переміщення вибирали радіус кривизни поверхні зносу. Інший датчик компенсував силу тертя та дозволяв визначити значення коефіцієнта тертя у заданий момент часу.

Підготовка до випробування включала:

а) три види калібрування:

- Швидкості обертання мотора;
- тангенціального усунення датчика;
- Радіуса кривизни поверхні зносу;

б) встановлення параметрів випробування за допомогою спеціального програмного забезпечення (програма Instrum X for Tribometer). Надавалася наступна необхідна для випробування інформація:

- Частота опитування датчика;
- Дані про навколишнє середовище (температура, вологість);
- величина навантаження, при якій проводиться випробування, Н;
- Лінійна швидкість, см / с;
- Довжина пробігу, м, або кількість циклів;
- інформація про підкладку (матеріал покриття, матеріал підкладки, вид попереднього очищення зразка перед випробуванням);

- інформація про контртіло (матеріал покриття, матеріал контртіла, вид попереднього очищення контртіла перед випробуванням, розмір, геометрія).

Випробування проводили повітря при навантаженні 5 Н і лінійної швидкості 10 см/с, з радіусом кривизни поверхні зносу 5...9 мм, шлях тертя становив 100, 200 і 500 м.

Інтенсивність зносу зразка та статистичного партнера (кульки) оцінювали за формулою

$$W=V/(P l), \quad (2.1)$$

де W - інтенсивність зносу, Н-м; V - обсяг віддаленого матеріалу, мм, P - навантаження, Н; l – шлях тертя, м.

Визначивши діаметр поверхні зносу кульки за допомогою оптичного інвертованого мікроскопа "Olympus GX 51" (Нідерланди), об'єм віддаленого матеріалу на кульці розраховували наступним чином:

$$V = \pi h^2 (\gamma - (1/3) h), \quad (3.2)$$

де $h = \gamma - (\gamma^2 - [d/2]^2)^{1/2}$; d – діаметр зносу, мм; γ – радіус кульки, мм; h – висота сегмента, мм.

Об'єм віддаленого матеріалу зразка визначали за перерізом доріжки зношування на поверхні зразка за допомогою автоматизованого прецизійного контактного профілометра «Surtromc 25» (виробництво фірми «Taylor Hobson», Великобританія):

$$V = s \cdot l, \quad (2.3)$$

де l - довжина кола, мм; s - площа поперечного перерізу доріжки зношування, мм².

Стан поверхонь тертя вивчали з використанням оптичного мікроскопа фірми "Olympus GX 51", який забезпечений автоматизованою системою для аналізування зображень "SIMAGIS Photolab", та електронно-іонного скануючого мікроскопа "Quanta 200 3D" (Нідерланди).

2.3.2. Прилади та методика дослідження шорсткості поверхні вала ротора ТКР

Дослідження проводили за допомогою автоматизованого прецизійного контактного профілометра «Surtromc 25» (виробництво фірми «Taylor Hobson», Великобританія) зображеного на рис 2.4.

Провівши необхідні вимірювань встановлюють поверхневий профіль вздовж прямої лінії та з застосуванням відповідного програмного забезпечення визначають параметри шорсткості поверхні (таблиця 3.3). Даний прилад дозволяє визначити 35 параметрів шорсткості відповідно до стандартів ГОСТ 2789 73, ISO, ANSI, JIS, DIN.



Рисунок 2.4 - Автоматизований прецизійний контактний профілометр «Surtromc 25» (виробництво фірми «Taylor Hobson», Великобританія):

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики автоматизованого прецизійного контактного профілометра «Surtromc 25» (виробництво фірми «Taylor Hobson», Великобританія)

Вимірювальний щуп	
1	2
Хід щупа	300 мкм (0,012 in)
Розрішення	0,01 мкм (0,04 цп)
Точність	2% of reading + LSD мкм
Система виміру	індуктивна

Зусилля при вимірі	150-300 мГ
Алмазний наконечник	Радіус 5 мкм
Профілометр	
Довжина виміру	0,25, 0,8, 2,5, 8 мм
Цифровий фільтр	2CR или Гаусс (селективність)
Довжина вимірів, що управляється	0,25-25 мм
Швидкість переміщення	1 мм/с
Параметри	Ra, Rz, Rt, Rp, Rmr, Rpc, Rsm, Rz1max, Rsk, Rda
Діапазон вимірів по параметрам	
Ra, мкм	от 0,03 до 6,35
Погрішність по параметру Ra	3%
Ry, Rmax, мкм	от 0,2 до 25,3
Rz, мкм	от 0,2 до 25,3
Збереження даних	Результати 100 вимірів
Максимальна площа вимірів	127x85x60 мм

2.3.2. Прилади та методика дослідження мікроструктури поверхні вала ротора ТКР

Металографічні дослідження (мікроструктуру, товщину шару покриття, стан поверхні покриття) проводили на оптичному інвертованому мікроскопі "OLYMPUS GX51", який оснащений системою "SIMAGIS Photolab" для автоматизованого аналізу зображень та електронно-іонного скануючого мікроскопа "Quanta 200 3D" (рис. 2.5.).



Рисунок 2.5 - Оптичний інвертований мікроскоп "OLYMPUS GX51"

Поверхню зразка шліфували та полірували. Шліфування проводили металографічним папером з великим (№ 60...70) та дрібним зерном (№ 220.240). У процесі шліфування зразок періодично повертали на 90° . Змивали частинки абразиву водою і полірували на колі суспензіями з оксидів металу N_3O_4 , N_2O_3 , Al_2O_3). Коли досягали дзеркального блиску, поверхню шліфу промивали водою, спиртом, після чого просушували фільтрувальним папером. Травлення проводилося шляхом занурення у розчин (на кілька секунд). Після травлення поверхню промивали водою, спиртом та сушили за допомогою фільтрувального паперу. Реактив для травлення сталі: 5%-ний розчин азотної кислоти в етиловому спирті (реактив Ржешотарського).

2.3.3. Прилади та методика дослідження мікротвердості електроіскрових покриттів на поверхні вала ротора ТКР.

Мікротвердість визначали з застосуванням мікротвердоміра "AFFRI DM-8" (рис. 2.6) при навантаженні на індентор 100 г і часу витримки 15 с по десяти відбитків відповідно до ГОСТ 9450-76.



Рисунок 2.6 - Мікротвердомір "AFFRI DM-8"

Дослідження мікротвердості здійснювали алмазною квадратною пірамідкою з кутом при вершині 136° . Навантаження на індентор становило від 10.100 г. На підставі виміряної площі прямокутника, отриманого на екрані перетином дотичних до вершин відбитка ліній, прилад показує значення мікротвердості за шкалою Віккерса. Вимір мікротвердості матеріалу проводили через 100 мкм. Середнє значення мікротвердості встановлювали за результатами усереднення 10 вимірів.

2.3.4. Прилади, методика та пристосування для дослідження міцності зчеплення електроіскрових покриттів на поверхні вала ротора ТКР.

При нанесенні електроіскрових покриттів наноструктурний матеріал утворює на поверхні деталей автомобілів шар покриття, міцно зчеплений з поверхнею.

Випробування з визначення міцності зчеплення електроіскрового покриття з деталлю, що відновлюється, проводилися методом зсуву. Суть методу полягає у нанесенні на зразок циліндричної форми (рис. 2.7) кільцевого покриття. Потім цей зразок продавлюється за допомогою гідравлічного преса через матрицю. Під впливом дотичних напруг, що виникають, слід зрізання нанесеного на поверхні зразка електроіскрового покриття. При цьому сила, що впливає на зсув зразка, характеризує зчеплення покриття.

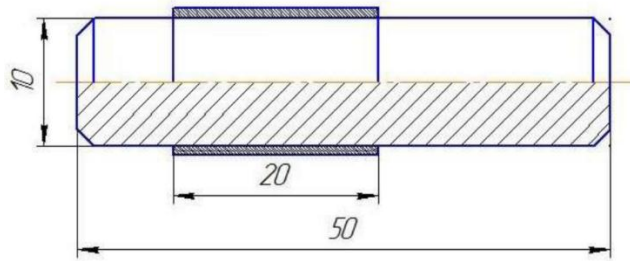
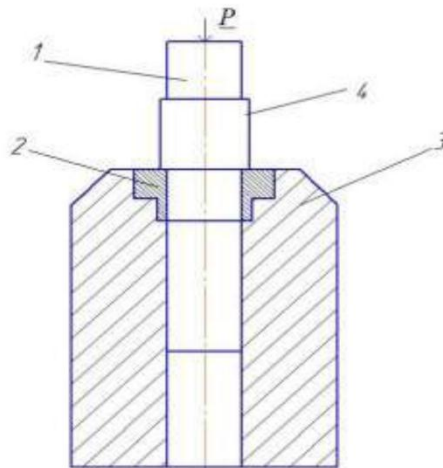


Рисунок 2.7 - Зразок із покриттям

Процес випробування відбувається з використанням гідравлічного преса із вбудованим манометром для вимірювання навантаження та заданою постійною швидкістю ходу штока. При випробуванні реєструється максимальне навантаження, яке передувало зсуву зразка через матрицю.

Випробування проводяться відповідно до схеми зображеної рис 2.6. Зразок з покриттям встановлюють у матрицю, що стоїть у корпусі пристосування. На зразок впливає шток преса із силою P



1 – зразок; 2 – матриця; 3 – корпус; 4 - шар електроіскрового покриття

Рисунок 2.8 - Схема випробування зразків на зсув

Межу зчеплення деталі з нанесеним покриттям з покриттям при зсуві визначали за формулою:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot h_n}, \text{ МПа}, \quad (2.4)$$

де H ; h_n - ширина пояса, мм; D – діаметр зразка, мм.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА

3.1. Вибір об'єкта реновації та визначення характеристик дефектів вала ротора ТКР

У зв'язку з цим за об'єкт реновації був взятий вал ротора ТКР на прикладі ТКР фірми Garrett GT 2049 S для двигуна 2.0 TDI Dura Forq автомобіль М Transit V».



1 - корпус компресора, 2 - середній корпус , 3 - корпус турбіни
Рисунок 3.1 - Турбокомпресор Garrett GT 2049 S для двигуна 2.0 TDI Transit V.

Вал ротора (рисунок 3.2) обраної моделі ТКР виготовлений зі сталі 30ХГСА з наступним загартуванням ТВЧ до твердості не менше HRC . Необхідно виконувати алмазне вигладжування опорних поверхонь валу, шорсткість їх не повинна перевищувати $R_a 0,32$ мкм, конусність та овальність не більше 0,005 мм, точність виготовлення відповідає 6 квалітету. У процесі роботи зношуються опорні поверхні валу ротора під підшипник D1 . Втулка ущільнення валу ротора виготовляється із сталі 45X (допускається 40X) після загартування та відпустки HRC 39-45. Напресовується у нагрітому стані на вал ротора. Зношується торець втулки та канавки під кільця ущільнювачів по ширині b_1 і b_2 шорсткість їх не повинна перевищувати $R_a 0,32$ мкм, конусність та овальність не більше 0,005 мм, точність виготовлення відповідає 6 квалітету. У процесі роботи зношуються опорні поверхні валу ротора під підшипник D1 . Втулка ущільнення валу ротора виготовляється із сталі 45X (допускається 40X) після загартування та відпустки HRC 39-45. Напресовується у нагрітому стані на вал ротора. Зношується торець втулки та канавки під кільця ущільнювачів по

ширині b_1 і b_2

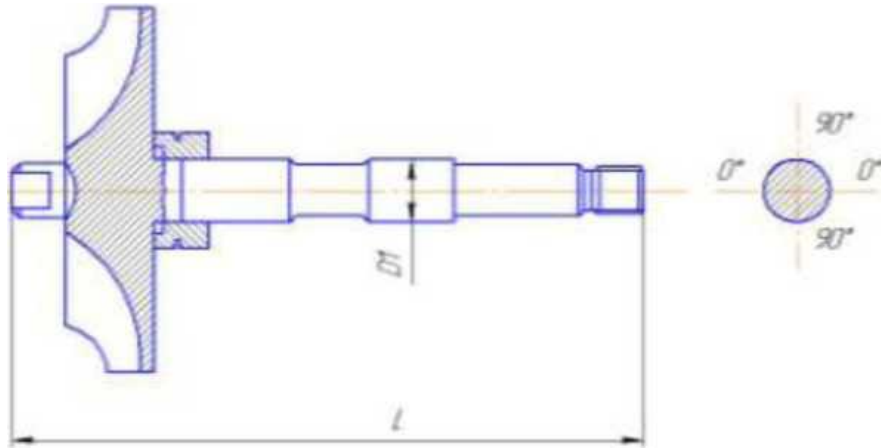


Рисунок 3.2 - Креслення валу ротора ТКР Garrett GT 2049 S

Як зразок було взято вал ротора, що був в експлуатації, з несправного ТКР. Знос обраного валу становив трохи більше 0,3 мм. Вимірювання мікрометром МРП 0-25 (ГОСТ 11098-75) з точністю 0,001мм

Для виконання робіт по відновленню валу ротора був обраний токарно-гвинтовий верстат 1К62 з інтегрованою в нього установкою для ЕІО « UR - 121». У супорт даного верстата за допомогою металевого хомута було закріплено вібратор установки з електродом. Електроіскрову обробку проводили при 30 об/хв і час подачі електрода 0,04 - 0,05 мм/хв. Після закінчення процесу ЕІО відновлена деталь піддається виглажуванню в місцях нанесення покриттів. Для цього в супорт токарного верстата встановлювався різець (в перевернутому вигляді), що забезпечує контакт його ріжучої пластини з відновленою поверхнею валу ТКР. Швидкість виглажування становить трохи більше 0,5-0,8 хв/об.

Основний вид зносу це гідроабразивний та термічний. Про це свідчать фрагменти деталей рис. 3.2., 3.3. та 3.4.



Рисунок 3.3 – Вигляд вала ротора ТКР від дії втомного руйнування



Рисунок 3.4 - Вигляд вала ротора ТКР при дії термічного впливу



Рисунок 3.5 - Сліди гідроабразивного зношування вала ротора ТКР

На основі проведених досліджень встановлено коефіцієнти повторюваності дефектів вала ротора ТКР та спряжених з ним поверхонь деталей, що відображено в таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 - Повторюваність дефектів деталей турбокомпресорів

Найменування дефекту	Повторюваність дефекту	
	Коефіцієнт	%
1	2	3
1. Зношування опорних поверхонь вала ротора під підшипник	0,8	80
2. Зношування канавок під ущільнювальні кільця втулки ротора	0,75	75
3. Сліди зачіпання втулки ротора за нерухливі деталі	0,3	30
4. Вигин вала ротора	0,2	20
5. Сліди зачіпання колеса турбіни за нерухливі деталі	0,08	80
6. Тріщини або обломи колеса турбіни будь-якого розміру й розташування	0,08	80
7. Зношування отвору корпусу середнього під підшипник	0,51	51
8. Зношування поверхні середнього корпусу (втулки) під ущільнювальні кільця	0,8	80
9. Зношування отвору: підшипника під вал ротора	0,72	72
10. Зношування отвору підшипника: під фіксатор	0,72	72
11. Зношування зовнішньої поверхні підшипника	0,5	50
12. Зношування торцевих поверхонь підшипника	0,61	61
13. Зношування поверхні диска ущільнення компресора під ущільнювальні кільця	0,76	76
14. Зношування поверхні фіксатора під підшипник	0,3	30

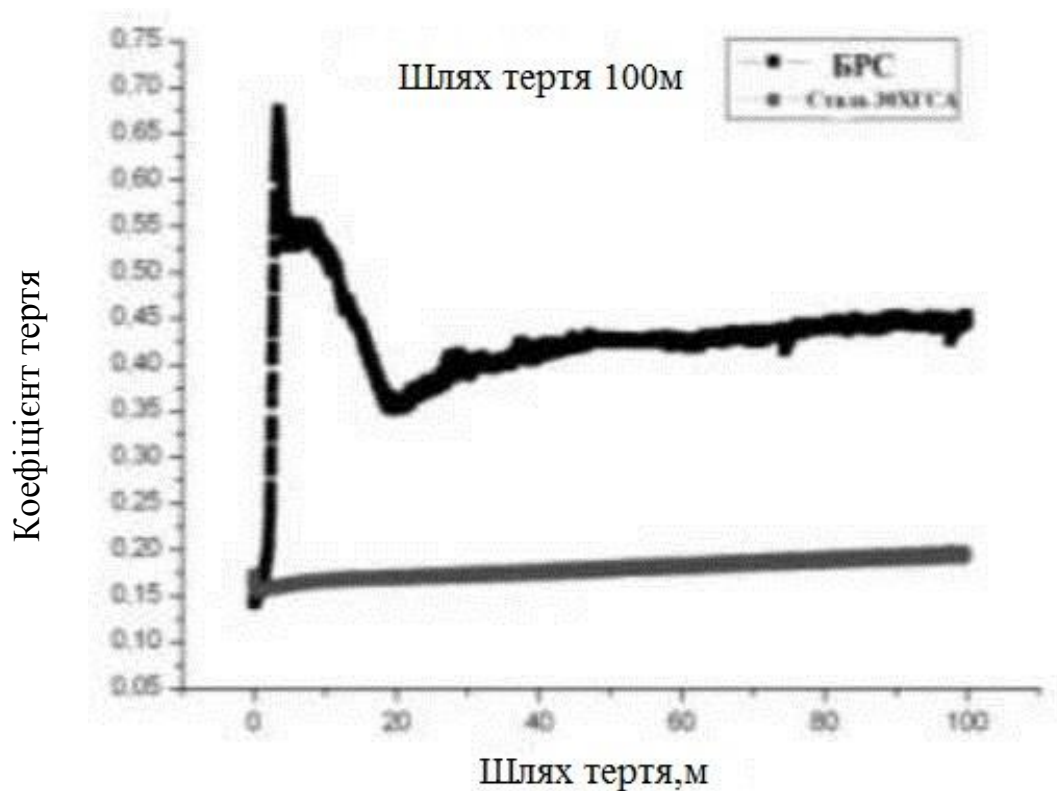
3.2. Результати дослідження електроіскрових покриттів валів ТКР

3.2.1.Результати дослідження коефіцієнта тертя

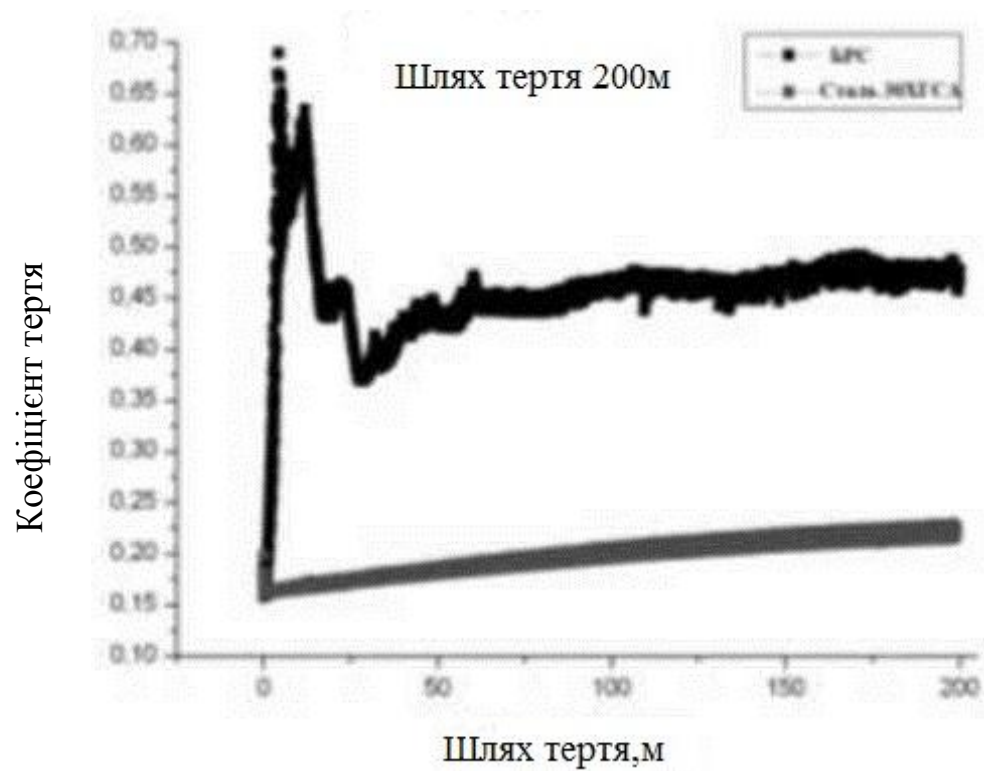
Було встановлено, що при використанні в якості контртіла (кульки) сталі марки Stainless Steel AISI 420» після багаторазових проходів по досліджуваних поверхні експериментальних зразків (підкладки зі сталі 30ХГСА) на відповідному шляху тертя відбувається таке:

- 100 м - інтенсивне зношування контртіла;
- 200 м - інтенсивне зношування контртіла;
- 500 м - інтенсивне зношування контртіла.

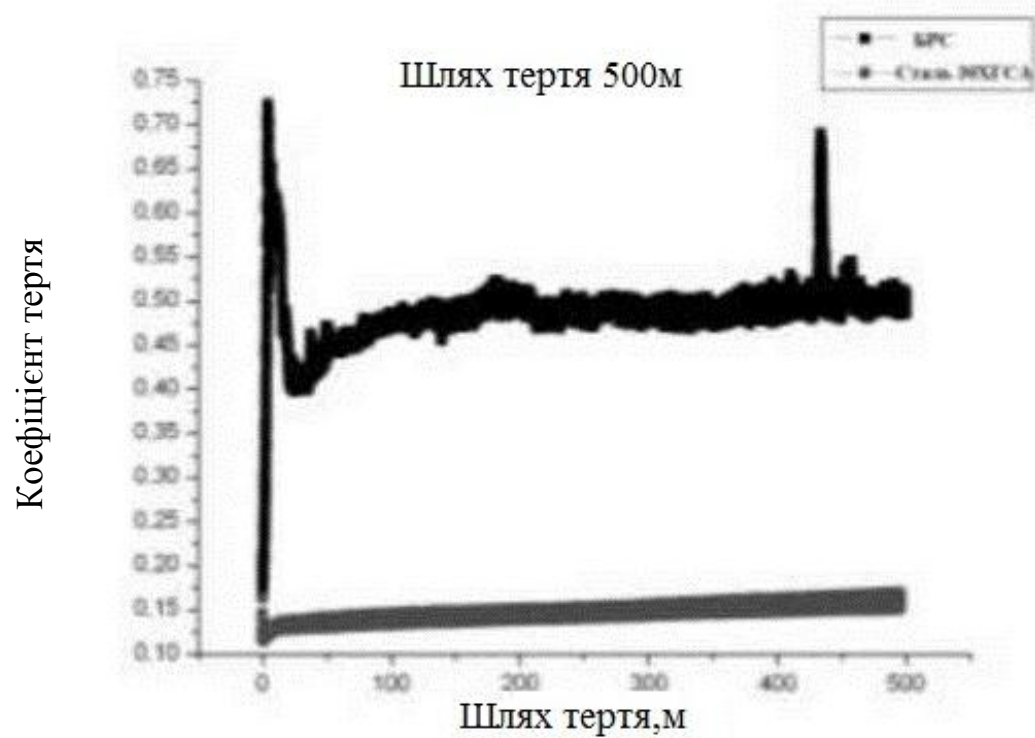
Результати трибологічних випробувань зразків при різних шляхах тертя представлені малюнку 3.6, а-в.



а)



б)



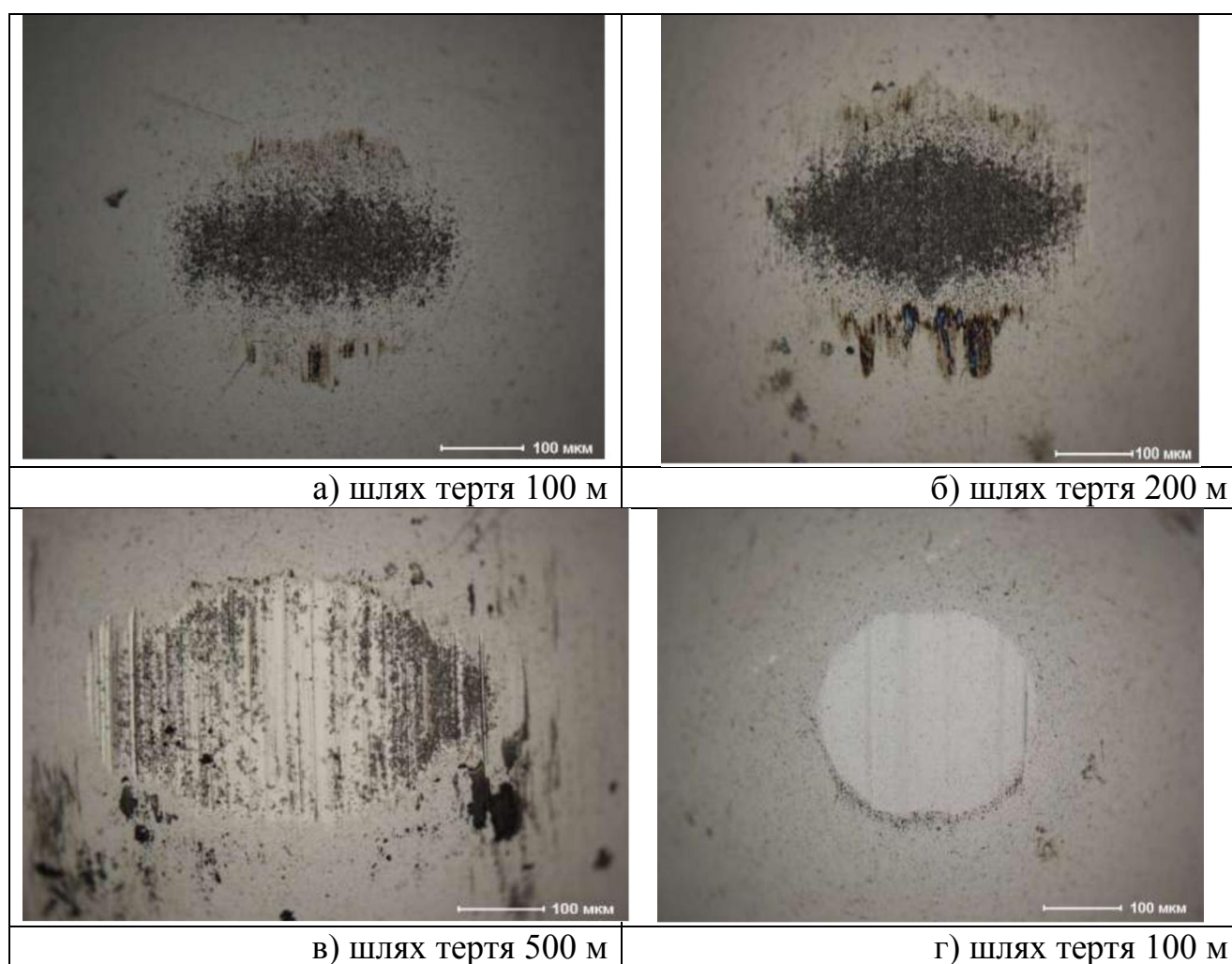
в)

Рисунок 3.6 - Результати трибологічних випробувань при різних шляхах тертя

Результати трибологічних випробувань поверхні тертя зразків із сталі 30 ХГСА, а також електроіскрових покриттів з БРС свідчать про високий коефіцієнт тертя останньої. Також наголошено, що при випробуваннях трибологічних зразків з БРС відбувається стрибок. В даному випадку це пов'язано з високою шорсткістю ($R_a = 2,14$ мкм) та знос характеризується згладжуванням твердих виступів поверхні зразка (рисунок 3.6, а-в).

3.2.2. Результати дослідження зносостійкості поверхні покриттів

Оптичне зображення плями зносу контртіла (кульки) після проходів досліджуваної поверхні експериментальних зразків (електроіскрових покриттів з БРС і підкладки зі сталі 30ХГСА) представлено на малюнку 3.7, а-е.



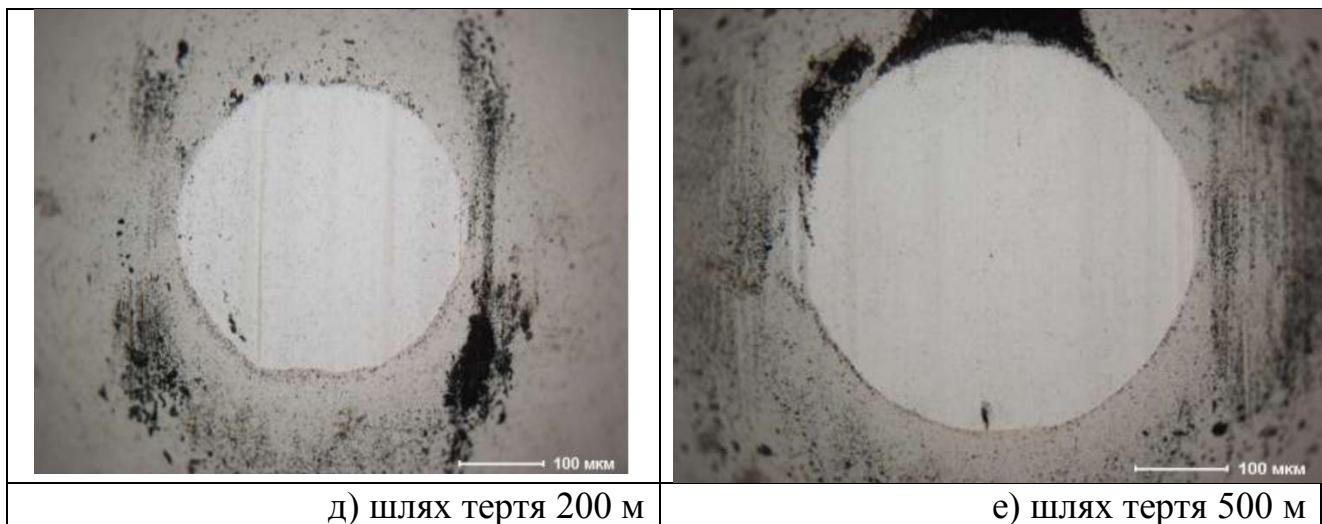


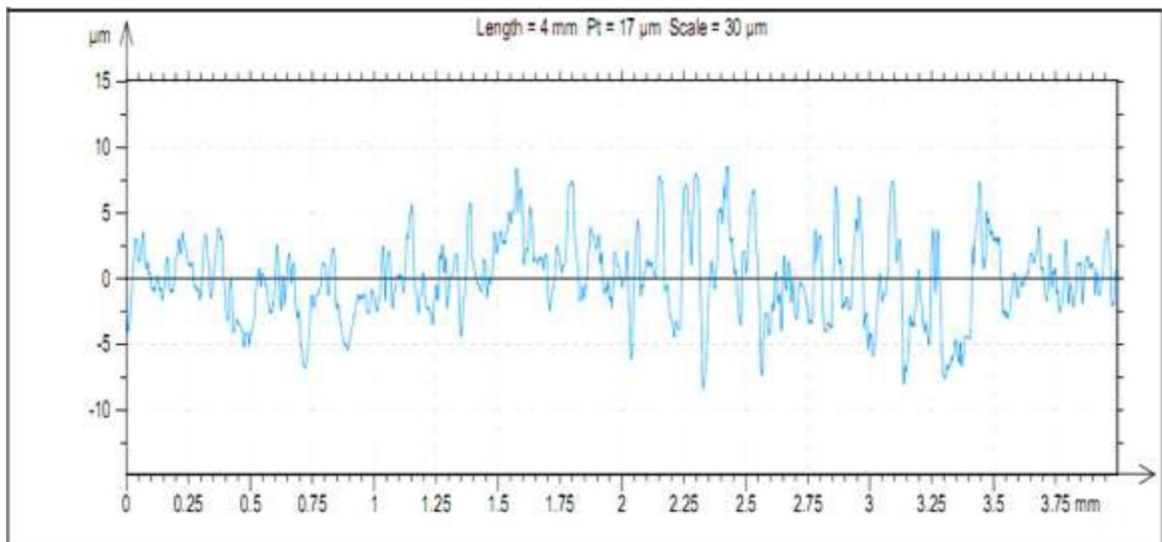
Рисунок 3.7 - Оптичне зображення плями зносу контртіла (кульки) після проходів досліджуваної поверхні експериментальних зразків: електроіскрових покриттів з БРС (а-в); підкладки із сталі 30ХГСА (г-є)

Оптичне зображення плями зносу показало, що при використанні в якості контртіла (кульки) зі сталі марки Stainless Steel AISI 420 після багаторазових проходів по досліджуваній поверхні експериментальних зразків (електроіскрових покриттів з БРС) на відповідному шляху тертя відбувається наступне:

- 100 м – налипання продуктів зношування зразка на контртіло;
- 200 м – налипання продуктів зношування зразка на контртіло;
- 500 м - часткове зношування контртіла і налипання продуктів зношування зразка на контртіло.

3.2.3. Результати дослідження шорсткості поверхні ЕП

Результати дослідження зразків наведено малюнку 3.8.



a)

ISO 4287			
Amplitude parameters - Roughness profile			
Rp	6.56	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rv	6.67	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rz	13.2	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rc	6.97	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rt	18.2	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Ra	2.14	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rq	2.71	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rsk	0.0671	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rku	3.74	µm	Gaussian filter, 0.8 mm
Material Ratio parameters - Roughness profile			
Rmr	0.8	%	c = 1 µm under the highest peak, Gaussian filter, 0.8 mm
Rdc	5.09	µm	p = 20%, q = 80%, Gaussian filter, 0.8 mm

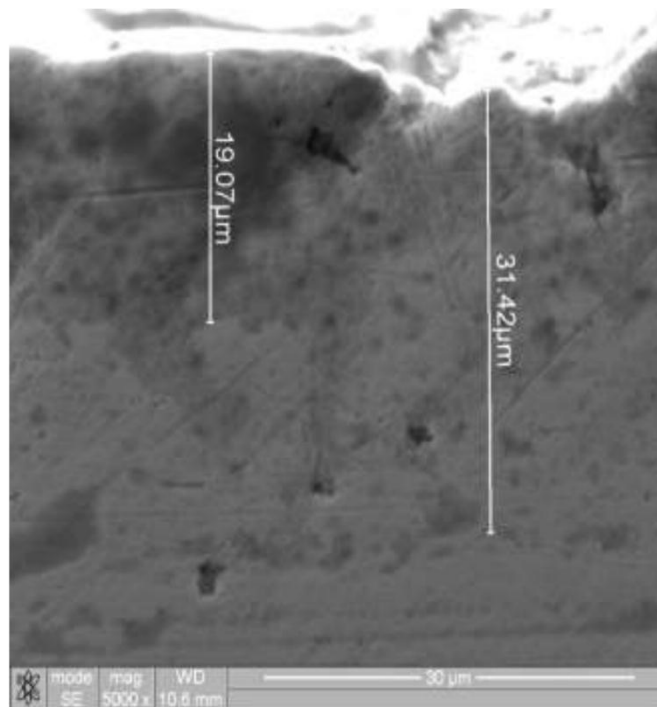
б)

Рисунок 3.8 - Шорсткість поверхні зразка («SURTRONIC 25»)

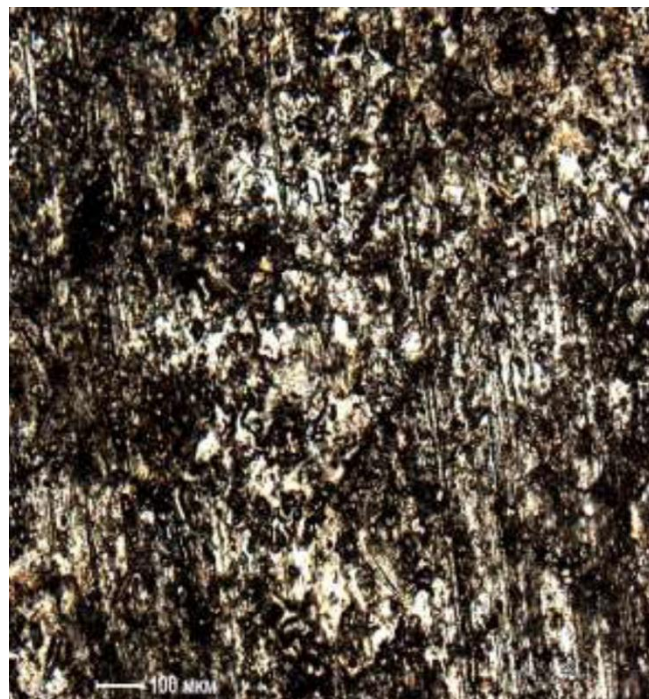
Експериментально було встановлено, що шорсткість зразків з електроіскровим покриттям становить Rz 13,2 мкм (Ra 2,14 мкм).

3.2.4. Результати дослідження мікроструктури електроіскрових покриттів

Результати дослідження зразків наведено на малюнку 3.9. Експериментально було встановлено, що електроіскрові покриття, тримані електродним матеріалом з електроерозійних порошків швидкорізальної сталі, мають товщину від 19,07 до 31,42 мкм.



а)



б)

а – поперечний шліф («Quanta 200 3D»), б – поверхня («OLYMPUS GX51»)

Рисунок 3.9 - Мікроструктура зразка

3.2.5. Результати дослідження мікротвердості електроіскрових покриттів

Результати вимірювань мікротвердості основи та ЕП наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Значення вимірів мікротвердості HV, ГПа

Номер відбитку	Підложка (Сталь 30ХГСА)	Покриття (БРС)
1	1,88	2,22
2	1,98	2,86
3	2,02	4,61
4	2,11	12,14
5	2,19	9,29
6	2,13	9,46
7	2,15	15,06
8	2,20	4,39
9	2,17	6,50
10	2,11	5,12
Середнє значення	2,094	4,36

Встановлено середнє значення мікротвердості ЕП з електродного матеріалом з електроерозійних порошоків сталі Р6М5, має більшу мікротвердість, ніж у основи, в 2,1 рази.

Розкид значень мікротвердості поверхнею пов'язаний з нерівномірним розподілом частинок БРС в ЕП (рисунок 3.14, б).

3.3.6. Результати дослідження пористості електроіскрових покриттів

Пористість нанесеного шару це наявність чи відсутність у ньому мікропор. Пори властиві тією чи іншою мірою практично всім покриттям. Вони відсутні лише у дифузійних шарах. При режимах з низькою енергією імпульсу та в матеріалах, що утворюють тонкі шари, пористість мінімальна. Зі збільшенням енергії імпульсів і товщини шару величина, а також кількість мікропір збільшується [10].

Пористість ЕП визначали за допомогою мікроскопа "Quanta 200 3D" на

поперечному перерізі шліфу за формулою:

$$C_{\text{пор}} = \frac{A_{\text{пор}}}{A_{\text{общ}}} \cdot 100\%$$

де $A_{\text{пор}}$ - сумарна площа пір на досліджуваному перерізі;

$$A_{\text{пор}} = \sum_{i=0}^k A_i$$

де A_i – площа i пори; $A_{\text{общ}}$ - площа ділянки досліджуваного покриття поперечному перерізі шліфу.

Величина, обернена пористості - щільність, є відношення площі поверхні без пір до загальної площі:

$$C_{\text{пл}} = \frac{A_{\text{общ}} - A_{\text{пор}}}{A_{\text{общ}}} \cdot 100\%.$$

Дослідження у роботах показали, що величина пористості покриттів при електроіскровій обробці матеріалів наноструктурними електродами становить 5.8%.

3.2.7. Результати дослідження міцності зчеплення електроіскрових покриттів

Для випробувань міцності зчеплення на зріз зразок було взято зразок циліндричної форми із сталі 30ХГСА, аналогічний матеріалу валу ротора ТКР. Діаметр зразка 10 мм, довжина 50 мм. ЕІП наносили в вигляді кільцевого пояса відстані 15 мм від краю зразка (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 - Зразок із покриттям

Для розрахунку міцності зчеплення навантаження (F), що передуює руйнуванню покриття визначали за допомогою графіка на малюнку 3.11.

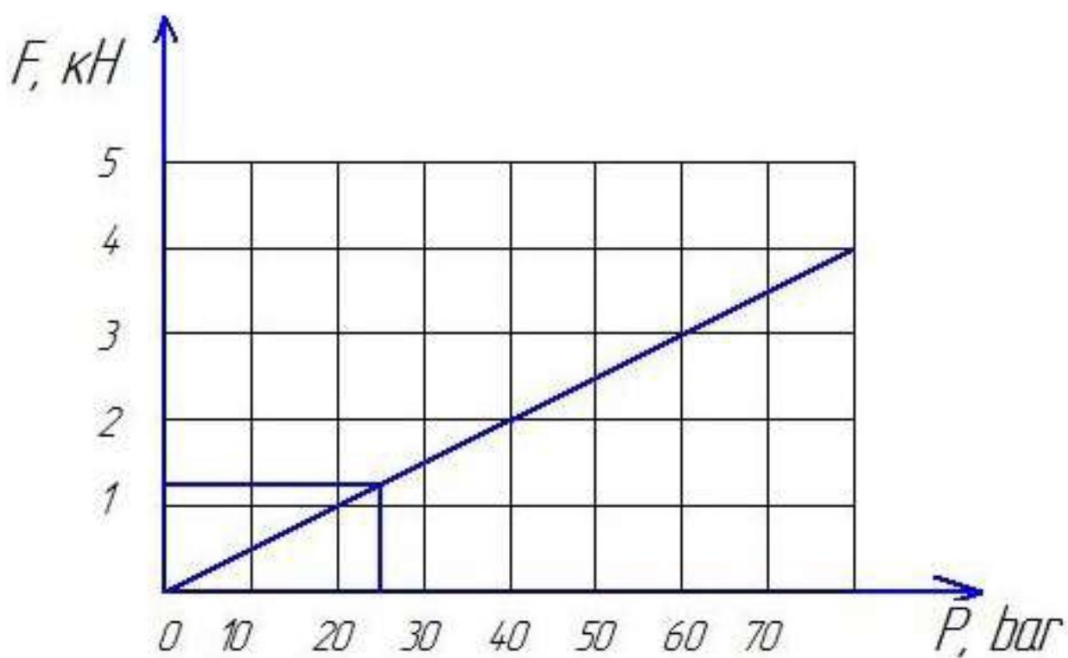


Рисунок 3. 11 - Графік залежності сили, що розвивається пресом, залежно від тиску в гідросистемі

Зразок за допомогою гідравлічного преса продавлювали через матрицю. З'єднання "зразок без покриття - матриця" утворює посадку $d=10$ (H7/k6).

Міцність покриття при руйнуванні у вигляді зрізу (когезійна) оцінювалася за формулою (3.4).

Електроіскрове покриття на зразок наносили установці "UR-121".

Параметри обробки: режим 7, $I_{\text{розр}} = 220$ В, $C = 360$ мкф, $f_{\text{імп}} = 100$ Гц. Товщина покриття до 0,01 мм.

Міцність покриття при руйнуванні у вигляді зрізу (когезійна) оцінювалася за формулою (3.4).

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot h_n} = \frac{12000}{3.14 \cdot 10^{-4}} = 38,1 \text{ МПа} \quad (3.4)$$

Таким чином, з урахуванням вихідних та отриманих даних міцність зчеплення електроіскрового покриття, отриманого з використанням наноструктурованого електрода, міцність зчеплення склала 38,1 МПа.

Отримані значення міцності зчеплення корелюють з раніше отриманими експериментальними даними [10].

Після випробувань на поверхні деталі має місце суцільне електроіскрове покриття, що вказує на відсутність чіткої межі поділу між нанесеним покриттям та основним металом [10].

3.2.8. Результати проведення виробничих випробувань

Виробничі випробування проводилися на універсальному безмоторному стенді, що моделює зношування високошвидкісного підшипникового вузла будь-якої моделі ТКР за методикою абразивного зношування. Стенд є безмоторною установкою для випробування різних режимів роботи ТКР, відповідних режимам його роботи на двигуні і для визначення параметрів ТКР на цих режимах відповідно до технічних умов на турбокомпресор.

Стенд складається із систем: газоповітряної системи, системи мастила, паливної системи, а також пульта керування зі стійкою приладів для вимірювання параметрів. Компресор приводиться у обертання турбіною, робочим тілом йому служить газ, з температурою 200-800 °С. В якості робочого тіла ТКР може бути стиснене повітря з температурою 50-70 °С.

Для моделювання прискореного зношування ТКР систему змащення вводили абразивний порошок. Випробування проводили із порошками наступного фракційного складу: 0,1- 0,4 мм. Маса засипається один разів на 1 год порції

порошку становила 0,25 р.

Послідовність проведення виробничих випробувань на стенді:

1. Виконувалося прокачування масла через систему мащення ТКР під тиском 3 атм.
2. Проводилася обкатка турбокомпресорів повітрям на середніх оборотах (20000 об/хв) протягом 15 хвилин.
3. Здійснювалася обкатка ТКР за рахунок енергії вихлопних газів на середніх оборотах (60000 об/хв) протягом 2 годин (при необхідності і частіше).
4. Виконувалося вимірювання осьового та радіального зазорів валу ротора ТКР.
5. Перевірялися динамічні газомасляні ущільнення.
6. Досліджувалися та аналізувалися показання віброприскорення.
7. Проводилось охолодження турбокомпресорів повітрям (без енергії вихлопних газів).

За результатами виробничих випробувань встановлено, що тривалість роботи ТКР із відновленим методом ЕІО наноструктурним електродом валом у 2 рази збільшилася порівняно з валом ТКР номінального розміру. Так, при введення абразивного матеріалу, що містить фракцію розміром 0,1 - 0,4 мм, час роботи ТКР з відновленим валом становив 12,8 години, а час роботи ТКР з валом без зносу номінального розміру становив 8,1 години.

Експлуатаційні випробування проводилися в КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький. Відновлені ТКР фірми Garrett моделі GT2049S для двигуна 2.0 TDI DuraTorq автомобіля Ford Transit V в кількості 2 штук були встановлені на випробуванні автомобілі. Монтаж відновлених ТКР проводився 29 квітня 2024 при напрацюванні автомобілів 489650 км і 544556 км. На дату підписання акта експлуатаційних випробувань (22.11.2024 р.) при напрацюванні 535569 км та 589658 км відповідно до випробуваних автомобіля «Ford Transit V» зауважень щодо роботи відновлених турбокомпресорів електроіскровим методом з використанням наноструктурного електрода не зафіксовано. Двигуни продовжують експлуатуватися досі.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

4.1 Рекомендована технологія відновлення та зміцнення валу ТКР електроіскровою обробкою

Розроблений типовий технологічний процес відновлення валів ТКР включає усунення методами ЕІО основних аварійних дефектів, а саме зношування робочої поверхні валу в сполученнях вал - підшипник ковзання; подряпини, задирки, риски, а також інші локальні дефекти. У процесі розробки технологічного процесу було відпрацьовано режими та технологічні прийоми операцій нанесення відновлювальних покриттів методами ЕІО, режими механічної обробки та зміцнення.

В даний час розвиток сучасного ремонтного виробництва в напрямку універсальних мобільних технологій відновлення деталей, реалізованих в умовах виробництв, з невеликою програмою, різноманітною номенклатурою та найменуванням відновлюваних деталей передбачає використання недорогого мобільного технологічного обладнання для нанесення покриттів ЕІО, вигладжування зміцнених і відновлених поверхонь.

На даний момент розроблено маршрут технологічного процесу відновлення валу ротора ТКР ЕІО електроерозійними наноматеріалами (таблиця 4.1) та для ремонту турбокомпресорів автомобілів шляхом відновлення розмірів зношених поверхонь ЕІО (таблиця 4.2).

Технологічний процес ремонту ТКР фірми Garret моделі GT 2049 S в умовах автотранспортного підприємства представлений в таблиці 5.1 і містить наступні етапи:

Виконуються роботи на слюсарній ділянці з розбирання ТКР відповідно до технічних вимог капітального ремонту ТК10.16.0001.019-90. Ця операція

проводиться на верстаті ОРГ1468-01-060А. ТКР кріпиться в слюсарні лещата (ГОСТ 5698-51), а далі розбирається за допомогою набору інструментів.

1. Деталі ТКР проходять миття в ультразвуковій ванні «Сапфір» протягом 30-40 хв, ТТЦ за нормальної температури 80...90°C. Завантаження деталей проводиться в кошик з нержавіючої сталі, торкання корпусу ванни не допускається. Як миючий розчин використовується засіб фірми «HELIT» з концентрацією 20 г/л.

2. Проводиться дефектування деталей ТКР, відповідно до технічних вимог капітального ремонту ТК10.16.0001.019-90. Вал ротора ТКР випробовується на згин за допомогою прилада ПБ-250 для перевірки деталей биття в центрах (рисунок 4.1). Даний прилад необхідний для перевірки биття циліндричних деталей, у тому числі ротора валу ТКР, встановлених в центрах. Контроль може здійснюватися як по циліндричних, так і по торцевих поверхнях. Прилад ПБ-250 включає станину, праву та ліву бабки, вузол каретки зі стійкою індикатора, яка оснащена мікроподачею, індикатор годинного типу ІЧ-10. Права бабка має рухому піноль з центром. Стопорний пристрій бабки призначений для закріплення пінолі. Центр лівої бабки рухається лише разом із останньою. За спеціальним замовленням обидва центри оснащуються твердим сплавом. Обидві бабки можуть рухатися напрямними станини і кріпляться у ньому затискачами у місці залежно від довжини деталі. Каретка зі стійкою індикатора розташовується навпроти ділянки, що перевіряється, і закріплюється на станині аналогічно бабкам. У державці затискачами кріпиться індикатор. Груба установка виконується шляхом пересування вузла мікроподачі колонкою, точне налаштування - за допомогою мікроподачі. У разі, якщо величина биття вище допустимої, вал ротора ТКР треба замінити.

3. У тому випадку, якщо вал ротора ТКР після перевірки на вигин визначається придатним, то далі визначається розмір канавок під кільця ущільнення та розміри опорних поверхонь валу ротора під підшипник за допомогою спеціального калібру ПР, НЕ (1,8-1,92 мм), а також мікрометра

важільного 0-25 з точністю 0,002 мм МР02020 (ГОСТ 4381 – 87). Наступним кроком є визначення розмірів отвору підшипника для валу ротора, далі - розмірів торцевих поверхонь підшипника, розмірів отвору підшипника для фіксатора за допомогою нутроміра з точністю 0,002мм 18-50 (ГОСТ 9244-75), в результаті якщо знос замінити підшипник.

Після цього необхідно визначити розміри отвору середнього корпусу для підшипника, розміри отвору середнього корпусу для ущільнення кільця, розміри поверхні фіксатора, що з'єднується з підшипником, розміри отвору диска ущільнення компресора під кільце ущільнювача. Необхідні вимірювання виконуються нутроміром з точністю до 0,002 мм (ГОСТ 9244-75) та важільних мікрометрів з точністю до 0,002 мм МР-02020 (ГОСТ 4381-87). При зношуванні понад 200 мкм хоча б однієї поверхні деталь бракується.

4. Виконується виглажування втулки ущільнення з валу ротора ТКР за допомогою гідравлічного преса П-6324 та спеціальної оправки. Після цього потрібно проточити канавку у втулці ущільнення валу ротора ТКР на необхідну глибину щодо ступеня зношування. Цю операцію виконували на токарно-гвинторізному верстаті 1К62 за допомогою трикулачкового патрона при центрі, що обертається, з різцем прохідним упорним правим і різцем канавковим.

5. Виконується обробка опорних поверхонь валу ротора під підшипник та ущільнювальну втулку. Ця технологія містить відновлення зношених валів турбокомпресорів на токарно - гвинторізному верстаті 1К62 з вбудованою в нього установкою для ЕІО « UR -121» (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 - Процес обробки опорних поверхонь валу ротора ТКР під підшипник та ущільнювальну втулку.

Технологія дозволяє виконувати:

- точність геометрії оброблюваних поверхонь валу ротора ТКР;
- центрування деталі горизонтальної осі;
- налаштування вильоту електрода з точністю не більше $\pm 0.01\text{мм}$;
- передачу крутного моменту без динамічних навантажень та вібрацій.

Комплект обладнання забезпечує наступні параметри нанесення електроіскрових покриттів (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Параметри ЕІО поверхні валу ТКР

№	Параметри	Нанесення ЕІ покриття
1	Частота обертання деталі, хв^{-1}	50
2	Діаметр деталі, мм	12
3	Шорсткість поверхні R_a , мкм	1,6-3,2
4	Час налаштування, хв	20,0
5	Час обробки (одна опора), хв	10
6	Подача електрода, мм/хв.	0,04-0,05

6. Наприкінці процесу ЕІО відновлена деталь піддається вигладжуванню в тих місцях, де були нанесені покриття. Для цього в супорт токарно-

гвинторізного верстата 1К62 встановлювався різець (у перевернутому вигляді), це забезпечує контакт його ріжучої пластини з відновленою поверхнею валу ТКР. (Рисунок 4.2). Швидкість обертання верстата при вигладжуванні становить $N_d = 30$ об/хв.



Рисунок 4.2 - Вигладжування поверхні валу ТКР після ЕІО

Технологія вигладжування перевернутим різцем дозволяє досягти зниження шорсткості відновленої поверхні та не видалити електроіскрове покриття відновлюваного валу ТКР.

7. Притиральна операція опорної поверхні валу ротора під підшипник до номінального розміру проводиться на токарно-гвинторізному верстаті 1К62 за допомогою чавунного притира розрізного, а також алмазної пасті АСМ 7/5 ГОСТ 9206-80. Контроль розмірів відновленого валу ротора ТКР здійснювали за допомогою важільного мікрометра МР02020 0-25 з точністю до 0,002мм (ГОСТ 4381-87).

8. Виконується напресування ущільнювальної втулки на вал ротора до упору в торець турбінного колеса за допомогою гідравлічного преса П-6324 та спеціальної оправки.

9. Здійснюється балансування валу ротора з турбінним колесом у двох площинах колеса турбіни до величини, що вказана у технічних вимогах капітального ремонту. Із застосуванням дорезонансного балансувального верстата БВІ-03-02Т виконується балансування (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 - Балансувальний дорезонансний верстат БВІ-03-02Т

Максимальна швидкість обертання валу на верстаті БВІ-03-02Т становить 4000 об/хв і регулюється залежно від маси колеса валу (ротора). Перед початком балансування визначається маса валу ротора значення якої вводиться в електронну систему управління верстатом за допомогою пульта. Вносяться значення діаметрів коліс у тих перерізах, з яких видалятиметься метал для врівноваження. Знаючи масу ротора, верстат розраховує питомий дисбаланс, а також поодинокі допустимі маси. У цей час рекомендується закріплювати на крильчатку валу ротора контрольні грузики встановлення їх у місця локалізації дисбалансу, для перевірконої балансування. Ремінною передачею забезпечується обертання ротора, а швидкість визначається за маркерною міткою, нанесеною на роторі за допомогою цифрового лазерного тахометра. Визначення дисбалансу здійснюється зі зміни напруги в датчиках, куди спирається вал ротора при обертанні. Спочатку балансується вал з турбінним колесом, а потім балансується вал з турбінним, а також насосним колесом у зборі. Крім коліс на вал встановлюються всі допоміжні деталі, що обертаються (шайби, втулки і кільця). Балансування – це процес виконання певних операцій. Дотримуючись вказівок програми, оператор вибирає потрібні режими, після чого запускає верстат, який визначає дисбаланс.

Ротор балансується за три етапи:

- балансування без контрольних вантажів;
- балансування з контрольним вантажем у площині 1;
- балансування з контрольним вантажем у площині 2.

Під контрольними вантажами мається на увазі використання зважених шматочків пластиліну, що закріплюються у певних місцях. Внаслідок виконання всіх етапів на дисплеї верстата відображаються результати балансування із зазначенням кута локалізації дисбалансу у двох площинах (рисунок 4.4).



Рис 4.4 - Інтерфейс верстата БВІ-03-02Т

Врівноваження валу ротора ТКР проводиться за рахунок видалення металу з тієї частини колеса, яка є протилежною найлегшою. Після видалення металу виконується повторна перевірка у три етапи. Цей процес повторюється до тих пір, поки на інформаційному дисплеї верстата не будуть отримані значення, які не перевищують допустимі.

Після досягнення потрібних значень на верстаті БВІ-03-02Т на валі та на колесах маркером наносяться мітки для наступного правильного складання деталей у картриджі ТКР. Потім з валу знімається насосне колесо і проводиться установка валу ротора картридж ТКР.

10. Складається картридж ТКР відповідно до технічних вимог капітального ремонту. Ця операція проводиться на слюсарному верстаті за допомогою слюсарних лещат (ГОСТ 5698-51) та набір інструментів.

11. Здійснюється балансування картриджа ТКР до величини, що зазначена у технічних вимогах на капітальний ремонт. Визначається дисбаланс валу з колесами у картриджі на балансувальному верстаті ДБС-Т1 (рисунок 4.5).



Рис 4.5 - Картридж, встановлений у верстаті ДБС-Т1

Верстат дозволяє розкручувати вал вже в діапазоні 0-20000 об/хв, обертання проводиться за рахунок струменя повітря, швидкість потоку якого можна гнучко регулювати. Швидкість обертання ротора, так само як і з попереднім стендом, визначається маркерною міткою за допомогою цифрового лазерного тахометра. У такому діапазоні швидкості балансування необхідне для підготовки валу та коліс до обертання на швидкостях, що відповідають робочим, через те, що випробування погано збалансованої системи на високій швидкості можуть призвести до великої амплітуди вібрацій та пошкодження картриджа з валом ротора. Перед початком балансування у верстаті передбачена функція підігріву олії, тиск та температура якого мають бути ідентичними робочим параметрам двигуна.

При обертанні верстат за рахунок датчиків визначає та вказує оператору, де знаходиться найважче місце (щодо встановленої маркером мітки). Пульти керування верстатом аналогічний тому, який встановлений на верстаті БВІ-03-02Т, балансування проводиться способом, аналогічним описаним вище.

Верстатом визначається місце розташування дисбалансу з точністю до 1 градуса. На рис. 4.7 відображено виміряні верстатом значення дисбалансу (відповідно 0 і 0,05 г. для першої площини та другої площини), праворуч у таблиці представлені ті значення, які допустимі ($M_{\text{доп1}}$ і $M_{\text{доп2}}$), що відповідають першій та другій площини). При порівнянні значень дисбалансів для площин стає зрозуміло, що отримані значення не перевищують допустимі, а отже, картридж є відбалансованим для даної швидкості обертання.



Рисунок 4.6 - Інтерфейс верстата ДБС-Т1

Необхідно відзначити, що встановлення контрольних пластилінових вантажів можливе тільки в тому випадку, якщо будуть проведені випробування на швидкості не більше 6000 об/хв, оскільки на більшій швидкості вони відриваються від поверхні.

12. Виробничі випробування ротора на дисбаланс здійснюються за допомогою балансувального розгінного верстата СБР-1 (рисунок 4.8), що дозволяє розкручувати ротор до 160000 об/хв (з огляду на те, що вимірювання починаються від 40000 об/хв), при подачі в корпус підшипників підігрітого моторного масла під тиском до 4 кгс/см.

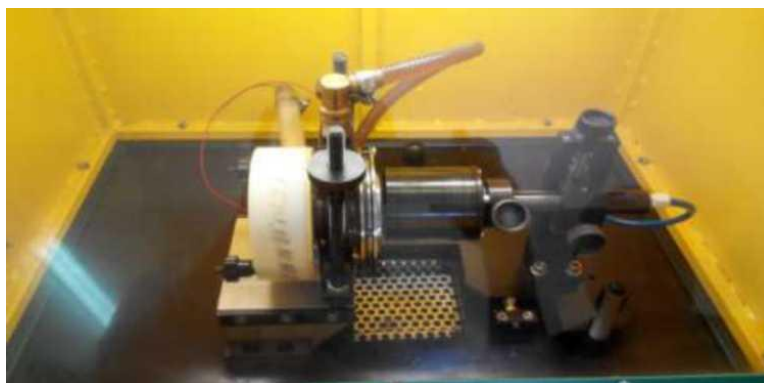


Рисунок 4.7 - Верстат балансувальний розгінний СБР-1 із встановленим картриджем ТК

Цей діапазон швидкостей обертання валу відповідає реальним робочим умовам ТКР. Процес балансування на верстаті трохи відрізняється від представленого вище. Мітка, яка вказує на положення валу з колесами, встановлюється не маркером, а постійним магнітом. На ефект Холла заснований сам процес вимірювання, що дозволяє з високою точністю визначати положення валу і коліс на високих швидкостях обертання. Верстат СБР-1 має інший пульт керування та іншу програму керування. Інтерфейс керуючої програми верстата дозволяє відстежувати такі параметри, як швидкість обертання валу, фазу точки отриманого графіка (у градусах), поточне та максимальне віброприскорення, час вимірювання та ін.

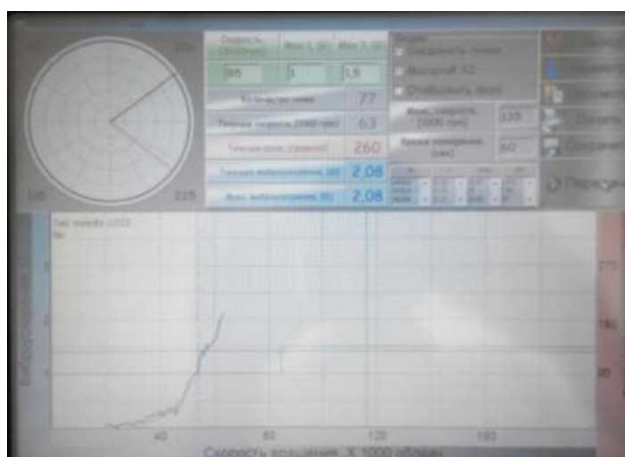


Рисунок 4.8 - Графік залежності віброприскорення від швидкості обертання валу для не відбалансованого картриджа

Під час випробування картриджа ТК на дисплеї верстата СБР-1 (рисунок 4.9) видно графік залежності швидкості обертання валу від віброприскорення та гранично допустимий діапазон віброприскорення, обмежений прямою лінією зі ступенем на швидкості обертання близько 85000 об/хв згідно з рекомендаціями заводу-виробника турбіни моделі GT 2049 S. На малюнку 4.8 видно, що з швидкості обертання близько 80000 об/хв віброприскорення перевищує граничне значення, і подальше збільшення швидкості випробування є недоцільним. З'являється необхідність видалення металу з ротора для врівноваження.

Балансування проводиться шляхом видалення металу в певному місці так само, як і на ранніх стадіях, після чого випробування на верстаті повторюється. Виробники верстата СБР-1 не передбачили можливості проведення випробувань за допомогою контрольних вантажів, система розрахунку віброприскорення часто показує неоднозначні результати, а балансування може зайняти більше часу, що призводить до зняття великої кількості металу з поверхні обертових тіл. Щоб вирішити ці проблеми, необхідно встановлювати контрольні вантажі у вигляді петлі з дроту, який надійно тримається в процесі розкручування і може бути видалено після випробувань. Петлі різної маси зроблені з дроту різної товщини та з різною довжиною кручений частини. Контрольна маса визначається за рахунок віднімання загальної маси (маси всієї петлі) маси дроту, яка безпосередньо прилягає до ротора. Балансування картриджа здійснюється, поки крива графіка не виходитиме за межі допустимого діапазону, як це показано на малюнку 4.9.

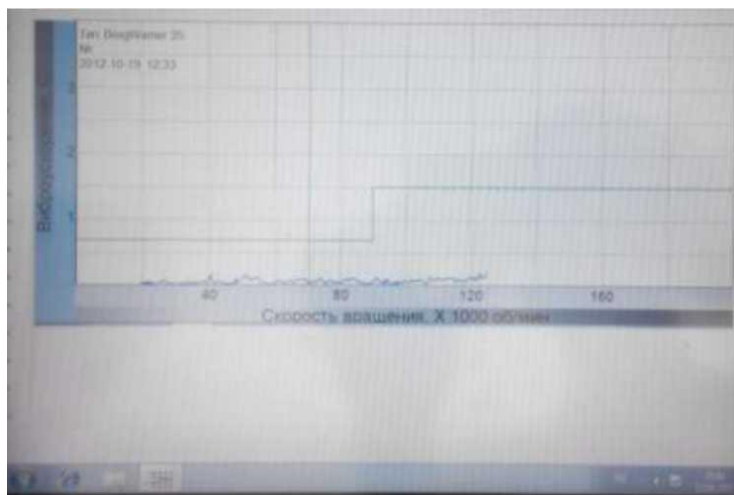


Рисунок 4.9 - Графік залежності віброприскорення від швидкості обертання валу для відбалансованого картриджа

Під час проведення балансування валу з колесами на верстаті СБР-1 з огляду на високі швидкості обертання з поверхні коліс у певних місцях видаляється кілька міліграм металу, що підкреслює складність та філігранність процесу балансування деталей ТКР.

12. Проводиться процес збирання ТКР. Картридж, який був збалансований, встановлюється у корпуси ТКР, згідно ТК10.16.0001.019-90.

13. ТКР у зборі встановлюється на безмоторний стенд для випробувань та обкатки, потім виконуються потрібні налаштування шляхом діагностичного приладу.

Таблиця 4.1 – Технологічний процес відновлення вала ротора ТКР ЕЮ

№ п/п	Найменування операції	Обладнання	Прилади та інструменти
1	2	3	4
005	<u>Мийна.</u> Вимити вал ротора ТКР у миючому засобі «HELIT» з концентрацією 25 г/л при температурі 80-90°C	Ультразвукова ванна "Сапфір" ТТЦ.	Кошик з нержавіючої сталі, миючий засіб «HELIT».
010	<u>Дефектувальна.</u> 1. Перевірити вал ротора на вигин. 2. Визначити зношування канавок для кілець ущільнення. 3. Визначити зношування опорних поверхонь валу ротора під підшипник.		Прилад перевірки на биття у центрах ПВ-250; калібр (1,75-1,89 мм); мікрометр 0-25 з МР02020 ГОСТ 4381 – 87.
015	<u>Електроіскрова.</u> 1. Закріпити в трикулачковий патрон токарно-гвинторізного верстата 1К62 зворотний центр. 2. Закріпити вал ротора ТКР у центрах верстата. 3. Обробити опорні поверхні валу ротора ТКР під підшипник. 4. Обробити поверхню на валі ротора під ущільнювальну втулку, електрод - 02 мм, режим установки -5, $n_d = 30$ об/хв, $S_{ел} = 0,23$ мм/об, $m = 1$.	Токарно-гвинторізний верстат 1К62, установка UR- 121.	Патрон трикулачковий; центр що обертається. Електрод для нанесення електроіскрових покриттів.

Продовження таблиці 4.1.

1	2	3	4
020	<u>Поверхнево-пластична.</u> Обкатати опорні поверхні валу ротора під підшипник. $n_d = 30$ об/хв, $S_{ел} = 0,11$ мм/об	Токарно-гвинторізний верстат 1K62	Патрон трикулачковий, центр; фасонний різець
025	<u>Притиральна.</u> Притерти опорні поверхні валу ротора під підшипник до номінального розміру.	Токарно-гвинторізни й верстат 1K62.	Патрон трикулачковий; центр обертвий; чавунний притир розрізний; паста алмазна АМ 7/5 ГОСТ 9206-80.
030	<u>Балансувальна.</u> Балансування валу ротора з турбінним колесом у двох площинах для досягнення величини, зазначеної у специфікації на капітальний ремонт	Верстат балансувальний БВІ-03-02Т;	Коло шліфувальне
035	<u>Очисна.</u> Промити блок у розчині миючого засобу «HELIT», з концентрацією 25 г/л при температурі 80-90°C	Ультразвукова ванна «Сапфір» ТТЦ	-
040	<u>Контрольна.</u> контролювати відновленого валу на відповідність розмірам	-	Мікрометр 0-25 з точністю 0,002мм МР02020 ГОСТ 4381 – 87.

Таблиця 4.2 - Технологічний процес ремонту ТКР відновленням розмірів зношених поверхонь ЕЮ

№	Найменування і зміст операції	Обладнання	Пристосування і інструмент
1	2	3	4
005	Слюсарна 1. Розібрати ТКР згідно з технічними вимогами на капітальний ремонт (ТК)*		Верстат універсальний ОРГ1468-01-060А; лещата слюсарні (ГОСТ 5698-51); спеціальний інструмент
010	Мийна 1. Вимити деталі ТКР у миючому засобі «HELIT» з концентрацією 25 г/л за температури 80.90оС; для очищення їх від нагару та смоляних відкладень	Ультразвукова ванна «Сапфір» ТТЦ	Кошик з нержавіючої сталі, миючий засіб «HELIT»
015	<u>Дефектувальна</u> Провести дефектування деталей ТКР згідно з приписаними технічними вимогами на капітальний ремонт*: 1. Перевірити вал ротора на вигин (при значенні биття вище допустимого ТК деталь підлягає заміні). 2. Визначити зношування канавок для кілець ущільнення. 3. Визначити зношування опорних поверхонь валу ротора під підшипник (при значенні більш допустимого зносу ТК необхідно зробити операції 030, 035, 040)	-	Прилад перевірки деталей обертання на биття в центрах ПВ-250; калібр спеціальний (1,75 – 1,89 мм); мікрометр важільного типу 025 з точністю 0,002мм МР02020 (ГОСТ 4381 - 87)

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
015	4. Перевірка отвору підшипника. під вал ротора з метою визначення зносу (якщо знос понад 210 мкм потрібна заміна підшипника) 5. Перевірка торцевих поверхонь підшипника з метою визначення зносу 6. Перевірка отвору підшипника під фіксатор з метою визначення зносу 7. Перевірка отвору середнього корпусу під підшипник з метою визначення зносу (якщо знос становить понад 200 мкм, необхідно бракувати деталь) 8. Перевірка поверхні фіксатора, що сполучається з підшипником, з метою визначення зносу (якщо знос більше 200 мкм, необхідно бракувати деталь) 9. Перевірити отвір диска ущільнювача компресора під кільце ущільнення з метою визначення зносу		Нутромір з точністю 0,002мм 18-50 (ГОСТ 9244 75); мікрометр важільного типу з точністю 0,002мм 25-50 мм (ГОСТ 4381-87); мікрометр важільного типу з точністю 0,002 мм 50-75 мм МР-02020 (ГОСТ 4381-87).
020	<u>Штампувальна.</u> Зняття втулки ущільнення з валу ротора ТКР	Прес гідравлічний П-6324	Оправка спеціальна
025	<u>Токарна.</u> Точити канавку у втулці ущільнення валу ротора ТКР на необхідну глибину щодо зносу, $n=315$ об/хв; $S=0,07$ мм/об	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	Трикулачковий патрон, центр обертовий; різець канавковий з кромкою 5 мм.

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
030	Електроіскрова 1. Обробити опорні поверхні валу ротора ТКР під підшипник. 2. Обробити поверхню на валі ротора під ущільнювальну втулку, електрод - 02 мм, режим установки -5, $N_D = 30$ об/хв, $S_{ел} = 0,23$ мм/об, $m = 1$.	Токарно-гвинторізний верстат 1K62, установка UR-121	Патрон трикулачковий; центр обертається. Електрод для нанесення ЕП
035	<u>Поверхнево-пластична</u> . Прокатати опорні поверхні вала ротора під підшипник; $N_D = 30$ об/хв, $S_{ел} = 0,11$ мм/об	Токарно-гвинторізний верстат 1K62	Патрон трикулачковий, центр обертовий; різець
040	<u>Притиральна</u> . Притерти опорні поверхні валу ротора під підшипник до номінального розміру	Токарно - гвинторізний верстат 1K62	Патрон трикулачковий; центр обертальний; чавунний притир розрізний; паста алмазна АМ 7/5 (ГОСТ 9206-80); мікрометр важільного типу - 025 з точністю 0,002мм МР02020 (ГОСТ 4381-87)

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
045	<u>Штампувальна.</u> Запресувати ущільнювальну втулку на вал ротора до упору в торець	Прес гідравлічний П-6324	Оправлення спеціальна
050	<u>Балансувальна.</u> Провести балансування валу ротора ТКР з турбінним колесом у двох площинах після досягнення величини, зазначеної у специфікації на капітальний ремонт	Верстат - балансувальний БВІ-03-02Т; машина шліфувальна	Коло шліфувальне
055	<u>Слюсарна.</u> Здійснити складання картриджа ТКР згідно специфікації на капітальний ремонт		Верстат слюсарний, лещата спеціальні (ГОСТ 5698-51).
060	<u>Балансувальна.</u> Балансувати вал ротора в зборі з масловідбивачем, колесом компресора і спеціальною гайкою до величини 20000 об/хв.	Верстат балансувальний ДБС-Т1;	Коло шліфувальне
065	<u>Балансувальна.</u> Балансувати картридж ТКР на дорозгінному балансувальному верстаті до величини 160 000 об/хв.	Верстат балансувальний розгінний СБР-1	Коло шліфувальне
070	<u>Слюсарна.</u> Здійснити складання ТКР		Верстат слюсарний
075	<u>Контрольна.</u> Виконати випробування зібраного ТКР на стенді відповідно до вимог на капітальний ремонт.	Стенд для обкатки та випробування ТКР	Набір інструментів

*Примітка: Технічні вимоги до капітального ремонту ТК10.16.0001.019-90.

ВИСНОВКИ

1. Науково обґрунтовано застосування ефективної технології для відновлення зношених деталей автомобілів шляхом застосування нових електроіскрових покриттів на основі електроерозійних наноматеріалів. Розроблена технологія відрізняється технологічною гнучкістю, дешевизною, простотою, не вимагає використання дорогих та дефіцитних матеріалів та обладнання, а також відповідає вимогам екологічної безпеки. Пропонована технологія може використовуватися для відновлення широкої номенклатури деталей автомобілів, тракторів та інших машин.

2. Експериментально встановлено залежності впливу властивостей електроерозійних матеріалів на властивості електроіскрових покриттів відновлених деталей автомобілів. Показано, що вміст нанорозмірних частинок електродного матеріалу сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей електроіскрових покриттів. Зокрема, середнє значення мікротвердості електроіскрового покриття (4,36 HV), отриманого електродним матеріалом з електроерозійних порошків швидкорізальної сталі, більше мікротвердості підкладки (2,09 HV) у 2,1 рази.

3. Експериментально встановлено залежність впливу властивостей електроіскрових покриттів на ресурс відновлених деталей автомобілів. Показано, що ресурс валів турбокомпресорів, відновлених за рекомендованою технологією вище ресурсу нових валів у середньому в 1,5 рази.

4. Експериментально встановлені раціональні режими нанесення зносостійких покриттів на зношені вали турбокомпресорів, що забезпечують необхідний комплекс фізико-механічних властивостей покриттям та заданий ресурс валів в цілому (частота обертання деталі, мін^{-1} - 50; подача електрода, мм/хв - 0,4-0,5).

5. Визначено параметри зносостійкості ЕП валів ТКР, отриманих з використанням електроерозійних наноматеріалів. Показано, що середнє значення коефіцієнта тертя у ЕП становило 0,146 замість 0,486 без покриття, що у 3,3 рази нижче.

6. За результатами виробничих випробувань встановлено, що тривалість роботи ТКР, з відновленням методом ЕІО наноструктурним електродом валом, у 2,1 раза збільшилася порівняно з новим промислово виготовленим валом. Так, при введенні абразивного матеріалу, що містить фракцію розміром 0,1-0,4 мм час роботи ТКР з відновленням валом становив 12,8 годин, а час роботи ТКР з новим валом без зносу номінального розміру становив 8,1 год.

7. Розроблені технології та обладнання апробовані та впроваджені КАТП «Агробудавтосервіс».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. G.Y. Richardson, C.S. Lei, W. Tabakoff. Erosion Testing of Coatings for V-22 Aircraft Applications // International Journal of Rotating Machinery. 2003.V. 9(1).P. 350- 358.
2. O. Hiroyuki, W. Mitsutoshi, A. Mikiya, Y. Hiroki, S. Yoshiyuki. Development of Coating and Cladding Technology Using Electro-Discharge Energy // IJ Engineering Review. 2006.V. 39. 3-№1. P. 1-7.
3. A.V. Ribalko, K. Korkmaz, O.Sahin. Intensification of the anodic erosion in electrospark alloying by the employment of pulse group // Surface & Coatings Technology. 2008. V. 202. P. 3591-3599.
4. Y.-L. Hwang, C.-L. Kuo, Sh.-F. Hwang. Development of coating and cladding technology using electro-discharge energy //Journal of Materials Processing Technology. 2010. V. 210. P. 642-652.
5. V.A. Lisovskiy, S.D. Yakovin, V.D. Yegorenkov. Low-pressure gas breakdown in uniform dc electric field // J. Phys. D: Appl. Phys. 2000. Vol. 33, No. 21. P. 2722-2730.
6. G.A. Mesyats, V.F. Puchkarev. Proc. XV Int. Symp. On Discharges and Electrical Insul. In Vacuum. Darmstadt, 1992. P. 488-495.
7. Афанасьев І. А. Підвищення післяремонтної надійності турбокомпресорів автотракторних двигунів / І.А. Афанасьев. Є. Е. Галгінкон // Zbiór irtykutownaulowych. Konftrenji Miedjqiuunndowej Naukovo-Praktyczntj. - Warszawa — 2016. - С. 6-11.
8. Дикий Б.П. Дослідження надійності турбокомпресорів двигунів внутрішнього згорання та шляхи її підвищення / Дикий Б.П. // Інтеграція світових наукових процесів як основа суспільного прогресу: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції ГО "Інститут інноваційної освіти" Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. - 2020. - С. 109-113.

9. Корейба О.В. Дослідження післяремонтної надійності турбокомпресорів дизельних двигунів вантажних автомобілів / Корейба О.В. // Zbior artykulow naukowych. Konferencji Miedzynarodowej Naukowo-Praktycznej " Inzynieria i technologia. Wspolczesne tendencje w nauce i edukacji " Warszawa: Sp. z o.o. "Diamond trading tour": 2016. - с. 71-77.
10. Bathe K.J. Finite Element Procedures in Engineering Analysis / Bathe K.J. 1996. - 223 с.
11. Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С., Мاستикаш ОЛ., Пельо Р.А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2004.-492 с.
12. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. – К.: Вища шк., 1994. – (У 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. – 342 с; Кн. 2: Організація, планування і управління. – 383 с; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. – 599 с.