

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАРА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу відновлення маточини
заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Іван ШЕЛЕПИЛО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Роман ХОРОШУН
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Марія СІПРАВСЬКА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)
«24» січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Шелепила Івана Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу відновлення маточини заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T

Керівник роботи Хорошун Роман Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » січня 2025 року № 4/7-46

2. Термін подання студентом завершеної роботи 09 червня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення маточини заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Знімач універсальний – 1А1;

Знімач для випресування півосі – 1А1;

Карта дефектів – 1А1;

Операційні ескізи – 1А1;

Інформаційно-патентний пошук – 1А1;

Пневмо подушка – 1А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 24.січня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	05.02.2025	
2	Технологічний розділ	02.06.2025	
3	Конструкторський розділ	29.05.2025	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	16.06.2025	
5	Оформлення графічної частини	17.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06.2025	

Студент

(підпис)

Шелепило Іван Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Хорошун Роман Васильович

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Удосконалення технологічного процесу відновлення маточини заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T».

Робота виконана на кафедрі автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра асистент Хорошун Роман Васильович

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 50 сторінки формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: знос, дефекти, точність відновлення, наплавлення, шліфування.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Аналіз умов експлуатації задньої маточини та типові дефекти.....	7
1.2 Технічні вимоги до дефектації та методи виявлення пошкоджень.....	8
1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
2.1 Визначення оптимальних маршрутів відновлення деталей.....	12
2.2 Оцінка можливих способів відновлення окремих дефектів за маршрутом та обґрунтування вибору оптимальних методів.....	13
2.3 Обґрунтування технологічного маршруту відновлення та розробка маршрутної карти.....	17
2.4 Розрахунок параметрів режимів технологічних операцій та визначення технічних норм часу.....	18
2.5 Розрахунок необхідної кількості обладнання та площ виробничих ділянок для реалізації технологічного процесу.....	29
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	35
3.1 Розрахунок пневматичної підвіски транспортного засобу.....	35
3.2 Аналіз результатів моделювання показників плавності ходу.....	38
3.3 Конструктивна будова пневматичного балона	41
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	43
4.1 Техніка безпеки при роботі з компресорними установками.....	43
4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації абразивних кругів.....	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	48
БІБЛІОГРАФІЯ.....	49
ДОДАТКИ	

ВСТУП

У сучасних умовах експлуатації автомобільного транспорту особливого значення набуває забезпечення надійності, довговічності та економічності роботи вузлів і агрегатів. Однією з важливих деталей ходової частини є маточина колеса, яка зазнає значних навантажень під час руху, а тому є вразливою до зносу та пошкоджень.

Зі збільшенням пробігу автомобіля зростає ймовірність виникнення дефектів у вузлі маточини, що може призвести до погіршення експлуатаційних характеристик транспортного засобу, зниження безпеки руху та додаткових витрат на ремонт. Особливо актуально це для моделей із турбованими силовими агрегатами, як-от Skoda Octavia 1.8T, де навантаження на вузли підвіски є вищими в порівнянні з атмосферними аналогами.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є вдосконалення технологічного процесу відновлення маточини заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T шляхом впровадження ефективних ремонтно-відновлювальних методик. У процесі дослідження буде здійснено аналіз конструкції маточини, типових дефектів, обґрунтування вибору технологічних баз, режимів обробки та відновлювальних операцій.

Результати роботи можуть бути використані на підприємствах з технічного обслуговування й ремонту автотранспорту з метою підвищення якості ремонтних робіт, зниження собівартості відновлення та продовження ресурсу деталей.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз умов експлуатації задньої маточини та типові дефекти

Маточина заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T є конструктивним елементом ходової частини, що здійснює обертальний рух і виконує функцію опори для колеса та гальмівного барабана. Вона забезпечує надійне з'єднання колеса з осьовим вузлом і дозволяє передавати навантаження при одночасному забезпеченні обертання. Монтаж маточини до моста здійснюється через пару конічних роликів підшипників. На зовнішню частину маточини кріпляться здвоєні колеса, а також гальмівний барабан.

З конструктивної точки зору, маточина являє собою циліндричний корпус із внутрішнім порожнистим простором, що містить посадкові поверхні для двох підшипників, різьбові ділянки для монтажу гальмівного барабана та захисної кришки, а також отвори під кріпильні болти коліс. Посадка зовнішнього кільця підшипника забезпечується за рахунок його запресування в спеціальну канавку корпусу маточини. Геометрія деталі є досить складною, а умови експлуатації – жорсткими через циклічні навантаження.

Під час експлуатації маточина зазнає значних ударних і вібраційних навантажень, що зумовлює поступове зношення функціональних поверхонь. Найбільш характерними дефектами є: локальне розширення посадочних місць під зовнішні кільця підшипників (внутрішнє та зовнішнє); знос отворів для болтового кріплення коліс; пошкодження або зрив різьб на гніздах для гвинтів кріплення гальмівного барабана; деформація або зношення різьбової частини під захисний ковпачок.

Такі дефекти погіршують механічні характеристики вузла, сприяють втраті точності обертання та можуть призвести до зниження експлуатаційної надійності всієї колісної групи.

У разі дії на маточину надмірних ударних навантажень, величина яких перевищує граничні показники міцності матеріалу, можуть виникати тріщини як результат локального руйнування металу.

Під час експлуатації автомобіля внаслідок динамічних і статичних впливів на вузли ходової частини, зокрема й на маточину, поступово формуються різноманітні пошкодження. До типових дефектів, властивих цій деталі, належать:

- відхилення геометричних параметрів робочих поверхонь унаслідок їхнього зносу під дією тертя, контактних навантажень та вібрацій;
- механічні пошкодження різного характеру (задири, надщерблення, мікротріщини), які виникають під впливом навантажень, що перевищують допустимі експлуатаційні межі, а також унаслідок втомного руйнування структури матеріалу.

Таким чином, до найпоширеніших дефектів, що виникають у процесі експлуатації маточини заднього колеса, належать: Механічне руйнування корпусу, що проявляється у вигляді обломів або появи тріщин через перевищення граничних напружень; Зношення посадкової поверхні під зовнішнє кільце підшипника зі сторони колеса, що знижує точність установлення та фіксацію підшипника; Зношення внутрішнього отвору під зовнішнє кільце підшипника з боку моста, що призводить до втрати жорсткості вузла; Підвищений знос монтажних отворів під болти кріплення колеса, що зменшує надійність з'єднання; Пошкодження або часткова втрата профілю різьби в гніздах для кріплення гальмівного барабана, що ускладнює надійний монтаж; Місцеві пошкодження або зношення різьбової частини під установку захисного ковпачка, що може призвести до втрати герметичності та забруднення підшипникового вузла.

1.2 Технічні вимоги до дефектації та методи виявлення пошкоджень

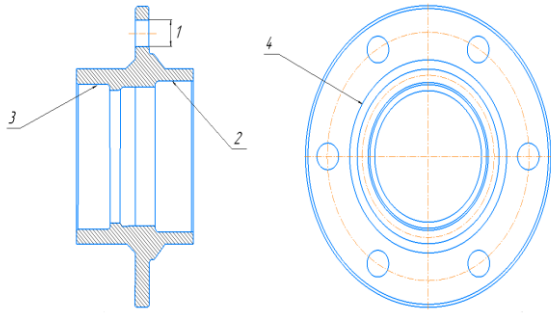
Процедура дефектації та подальшого сортування деталей здійснюється відповідно до встановлених технічних вимог, які регламентуються нормативно-методичними матеріалами з капітального ремонту автомобільної техніки.

Технічні критерії контролю придатності, а також прийоми виявлення пошкоджень маточини заднього колеса автомобіля Skoda Octavia 1.8T

систематизовано в таблиці 7.1. Вона містить перелік основних дефектів, допустимі межі відхилень, характерні ознаки зношення та методи контролю.

Крім того, на аркуші 1 графічної частини курсового проекту подано ескіз деталі з позначенням критичних зон зносу, описом типових пошкоджень, а також рекомендованими способами їх усунення. Такий підхід дозволяє забезпечити комплексну оцінку технічного стану вузла та прийняти обґрунтоване рішення щодо його подальшого використання або ремонту.

Таблиця 1.1 – Карта технічних вимог для дефектації маточини заднього колеса.

			Маточина заднього колеса		
			Твердість: HRC 42...46		
Позначення на ескізі	Найменування дефектів	Спосіб встановлення дефекту та вимірювальні інструменти	Розмір, мм		Висновок та можливі способи відновлення
			За робочим кресленням	Допустимий без ремонту	
-	Обломи або тріщини	Огляд Лупа складана ЛП-1	-	-	дефект
1	Зношування отворів під болти кріплення колеса	Калібр -пробка НЕ 16,1 або нутромір. НД 10-18-1	22,7	22	Зварювання ДРД
2	Зношування отвору під кільце зовнішнього підшипника	Калібр - пробка НЕ 61,99 або нутромір НІ 50-100-1	$62_{-0.021}^{-0.051}$	61,99	Наплавлення вібродугове Наплавлення у середовищі захисного газу Залізнення Постановка ДРД

3	Зношування отвору під кільце внутрішнього підшипника	Калібр-пробка HE 71,99 або нутромір HI 50-100-1	$72_{-0.021}^{-0.051}$	71,99	Наплавлення вібродугове Наплавлення у середовищі захисного газу Залізнення Постановка ДРД
4	Задир металу	Огляд	-	-	Зварювання або шліфування

1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Підвищення ефективності ремонту та експлуатаційних властивостей транспортного засобу шляхом оптимізації технології відновлення маточин коліс та розрахунку елементів пневматичної підвіски.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні завдання:

Провести аналіз технічного стану об'єкта відновлення (задана деталь — маточина заднього колеса) та встановити перелік типових дефектів.

Визначити раціональні маршрути відновлення пошкоджених елементів на основі закономірностей зношування та класифікації дефектів.

Оцінити доцільність застосування різних способів відновлення для кожного типу дефекту з урахуванням техніко-економічних і експлуатаційних показників.

Розробити маршрутну карту відновлення обраної деталі, обґрунтувати вибір обладнання, режимів обробки та послідовності операцій.

Здійснити розрахунок режимів технологічних операцій (свердління, шліфування, зенкування, гальванічна обробка тощо) та визначити технічні норми часу.

Розрахувати необхідну кількість обладнання, що забезпечить виконання заданої програми, а також визначити мінімально допустиму площу виробничої ділянки.

Виконати конструкторський розрахунок пневматичної підвіски транспортного засобу, зокрема оцінити параметри пневмобалона, жорсткість та тиск в робочому стані.

Провести аналіз результатів моделювання плавності ходу, обумовленої вибраними параметрами підвіски, та порівняти з нормативними значеннями.

Вивчити конструктивну будову пневматичного балона та його взаємодію з іншими елементами підвіски.

Розробити рекомендації з техніки безпеки при проведенні технологічних операцій відновлення (зокрема, при роботі з компресорами та абразивними інструментами).

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення оптимальних маршрутів відновлення деталей

Відновлення зношених елементів виконується згідно з маршрутною технологією, що дозволяє ефективно організувати ремонтні процеси, мінімізувати витрати енергоресурсів, забезпечити оптимальне завантаження обладнання та запобігти утворенню зустрічних потоків переміщення деталей на виробничих площах ремонтного підприємства.

Під маршрутною технологією розуміють комплекс технологічних операцій, сформований відповідно до характеру та обсягу виявлених дефектів конкретної деталі. Маршрутом у цьому контексті вважається логічна послідовність виконання операцій, яка передбачає найкоротший шлях переміщення виробу між технологічними зонами, цехами або дільницями, з урахуванням виробничої логістики та специфіки обладнання.

Під час формування маршрутів відновлення деталей доцільно дотримуватись таких принципів технологічної організації процесу:

Поєднання дефектів у межах кожного маршруту має ґрунтуватися на результатах аналізу характеру та закономірностей виникнення пошкоджень конкретної деталі. Логічна узгодженість груп дефектів дозволяє об'єднувати їх в єдиний цикл обробки;

Маршрут повинен забезпечувати технологічну узгодженість між характером виявлених дефектів і відповідними методами їх усунення, що унеможливорює виникнення суперечностей між операціями;

Загальна кількість маршрутів відновлення повинна бути мінімальною, що забезпечує компактність виробничого потоку та зменшує витрати часу на переналагодження обладнання й транспортування деталей;

Технологія відновлення за маршрутним принципом має бути економічно обґрунтованою, з урахуванням доцільності та технічної можливості ремонту окремих поверхонь чи елементів деталі.

Комплексна оцінка дефектів маточини заднього колеса дозволяє згрупувати пошкодження за характером і призначити доцільні методи

відновлення, з урахуванням технологічної сумісності процесів. До можливих поєднань дефектів, які підлягають спільному відновленню, належать:

Зношення отворів під болти кріплення колеса – усувається шляхом встановлення деталей роз'ємного допасування (ДРД), що забезпечують відновлення посадочних місць без порушення геометрії;

Зношення посадкової поверхні під зовнішнє кільце внутрішнього підшипника – підлягає відновленню методом залізнення, що передбачає наплавлення шару металу з подальшою механічною обробкою;

Зношення отвору під зовнішнє кільце зовнішнього підшипника – також рекомендується усувати за допомогою технології залізнення, яка дозволяє відновити геометричні параметри й забезпечити необхідну точність посадки.

2.2 Оцінка можливих способів відновлення окремих дефектів за маршрутом та обґрунтування вибору оптимальних методів

На сьогоднішній день розроблено широкий спектр технологій, що дозволяють ефективно відновлювати працездатність деталей із різними видами зносу та пошкоджень. Однак не всі наявні методи є однаково доцільними з позицій точності, надійності, економічної ефективності та сумісності з конкретними типами дефектів.

Для забезпечення обґрунтованого вибору технологічного процесу відновлення доцільно орієнтуватися на конструктивні особливості деталі, умови її експлуатації та результати дефектації. Виходячи з геометрії та функціонального призначення, згідно з діючими класифікаційними підходами, маточина заднього колеса відноситься:

за формою до другої групи деталей – порожнисті циліндричні елементи;

за призначенням – до першої категорії вузлів – ступиці та гальмівні барабани, що працюють в умовах змінного навантаження та обертального руху.

Для обґрунтованого вибору найбільш придатного способу відновлення деталей необхідно враховувати їхні конструктивно-технологічні особливості, що формуються сукупністю критично важливих параметрів. До основних з них належать: геометрична форма елемента, лінійні розміри, товщина

відновлюваного шару, твердість поверхні, міцнісні характеристики базового матеріалу, типові експлуатаційні навантаження, умови сполучення з іншими деталями, допуски точності після обробки.

Аналіз наведених характеристик дозволяє сформулювати перелік доцільних методів відновлення, оцінити їх технічний рівень, економічну ефективність, а також спрогнозувати якість та ресурс відновленої деталі. На основі цих даних здійснюється вибір оптимальної технології ремонту.

Порівняльну оцінку результативності застосування різних способів відновлення наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Оцінка ефективності технологій відновлення маточини заднього колеса.

№	Можливі способи відновлення	Питомі показники на 1 дм ² поверхні					Відносний питомий показник, способу, γ	Відносна довговічність, α	інтегрального показника I
		W, кВт-год	Q, кг	β , м ²	T, люд.-год	C _в , у.е.			
1	Наплавлення вібродугове	1,8	0,1	3,0	0,29	0,5	0,370	0,98	0,38
2	Наплавлення у середовищі захисного газу	4,3	0,1	1,7	0,33	0,6	0,469	0,8	0,59
3	Залізнення	15	0,2	4,5	0,28	0,5	0,858	0,91	0,94
4	Механічна обробка (крім способу ремонтних розмірів)	2,1	3,1	3,4	0,27	0,6	1,192	0,9	1,32

Відносний питомий показник i -го способу відновлення обчислюється на основі співвідношення значення техніко-економічного критерію для даного способу до максимального значення серед усіх розглянутих варіантів. Розрахунок здійснюється за наступною формулою:

$$\gamma_i = \frac{W_i}{\sum W_n} + \frac{Q_i}{\sum Q_n} + \frac{\beta_i}{\sum \beta_n} + \frac{T_i}{\sum T_n} + \frac{C_{vi}}{\sum C_{vn}} \quad (2.1)$$

де $W_i, Q_i, \beta_i, T_i, C_{vi}$ – значення питомих показників i -го способу відновлення;

$\sum W_n, \sum Q_n, \sum \beta_n, \sum T_n, \sum C_{vn}$ – сума значень однойменних питомих показників усіх можливих способів відновлення.

$$\gamma_1 = \frac{W_1}{\sum W_n} + \frac{Q_1}{\sum Q_n} + \frac{\beta_1}{\sum \beta_n} + \frac{T_1}{\sum T_n} + \frac{C_{v1}}{\sum C_{vn}} = \frac{1,8}{30,1} + \frac{0,1}{3,8} + \frac{3,0}{56,59} + \frac{0,29}{2,46} + \frac{0,5}{4,4} = 0,370$$

$$\gamma_2 = \frac{W_2}{\sum W_n} + \frac{Q_2}{\sum Q_n} + \frac{\beta_2}{\sum \beta_n} + \frac{T_2}{\sum T_n} + \frac{C_{v2}}{\sum C_{vn}} = \frac{4,3}{30,1} + \frac{0,1}{3,8} + \frac{1,7}{56,59} + \frac{0,33}{2,46} + \frac{0,6}{4,4} = 0,469$$

$$\gamma_3 = \frac{W_4}{\sum W_n} + \frac{Q_4}{\sum Q_n} + \frac{\beta_4}{\sum \beta_n} + \frac{T_4}{\sum T_n} + \frac{C_{v4}}{\sum C_{vn}} = \frac{15}{30,1} + \frac{0,2}{3,8} + \frac{4,5}{56,59} + \frac{0,28}{2,46} + \frac{0,5}{4,4} = 0,858$$

$$\gamma_4 = \frac{W_5}{\sum W_n} + \frac{Q_5}{\sum Q_n} + \frac{\beta_5}{\sum \beta_n} + \frac{T_5}{\sum T_n} + \frac{C_{v5}}{\sum C_{vn}} = \frac{2,1}{30,1} + \frac{3,1}{3,8} + \frac{3,4}{56,59} + \frac{0,27}{2,46} + \frac{0,6}{4,4} = 1,192$$

Інтегральний показник ефективності i -го способу відновлення визначається як зважена сума відносних питомих показників за всіма критеріями оцінювання. Розрахунок здійснюється за наступною формулою:

$$I_i = \frac{\gamma_i}{\alpha_i} \quad (2.2)$$

$$I_1 = \frac{\gamma_1}{\alpha_1} = \frac{0,370}{0,98} = 0,38$$

$$I_2 = \frac{\gamma_2}{\alpha_2} = \frac{0,469}{0,8} = 0,59$$

$$I_3 = \frac{\gamma_4}{\alpha_4} = \frac{0,858}{0,91} = 0,94$$

$$I_4 = \frac{\gamma_5}{\alpha_5} = \frac{1,192}{0,9} = 1,32$$

Оптимальним методом відновлення вважається той, для якого інтегральний показник ефективності має найнижче значення серед усіх проаналізованих варіантів.

У ході оцінки встановлено, що до найбільш доцільних способів відновлення належать: вібродугове наплавлення, дугове наплавлення в середовищі захисного газу, а також залізнення.

Для прийняття обґрунтованого технологічного рішення необхідно детально проаналізувати переваги й обмеження кожного з методів.

Вібродугове наплавлення характеризується низькою тепловою інерційністю – температура нагріву деталі, як правило, не перевищує 100 °С, що дозволяє мінімізувати зону термічного впливу. Метод забезпечує формування шару із заданими показниками твердості без потреби у подальшій термообробці. Водночас до суттєвих недоліків цього способу належать:

- структурна неоднорідність наплавленого металу;
- варіативність твердості в зоні покриття;
- ризик утворення мікротріщин на межах перекриття валиків;
- формування внутрішніх розтягувальних напружень, що спричиняють зниження втомної міцності деталі до 30–40 % у порівнянні з початковими показниками.

З огляду на ці аспекти, вибір конкретного способу має базуватися не лише на інтегральному показнику, а й на реальних умовах експлуатації деталі після відновлення, вимогах до ресурсу, точності та допустимому рівні залишкових напружень.

До основних недоліків дугового наплавлення в середовищі захисного газу слід віднести низку технологічних і експлуатаційних обмежень. Зокрема, характерним є підвищене розбризкування металу, що призводить до втрат електрода в межах 5–10 %. Крім того, внаслідок термічного впливу та структурних змін у зоні наплавки відбувається зниження втомної міцності деталі на 10–20 %, а також помітне зменшення зносостійкості сформованого шару в порівнянні з іншими способами.

У свою чергу, залізнення є технологією, яка дозволяє формувати тверді зносостійкі покриття, що добре поєднуються з основним матеріалом. Якість отриманого шару значною мірою залежить від параметрів режиму процесу – температури, тривалості, швидкості подачі матеріалу. Водночас слід зазначити, що втомна міцність деталей, відновлених залізненням, також може знижуватися, однак це критично лише у випадках динамічного навантаження з високими циклами.

Практика застосування залізнення підтверджує його доцільність насамперед для відновлення посадкових поверхонь під підшипники, де спостерігається незначний знос, але висуваються підвищені вимоги до точності, твердості, зчеплення покриття з основою та стабільності геометрії.

Виходячи з узагальненого аналізу особливостей кожного з розглянутих методів, обґрунтовано приймається технологічне рішення про відновлення посадкових ділянок маточини під підшипники шляхом залізнення, що забезпечує відповідність експлуатаційним вимогам без перевищення допустимих витрат і ресурсних навантажень.

2.3 Обґрунтування технологічного маршруту відновлення та розробка маршрутної карти

Процес технологічного відновлення деталі формується як послідовність взаємопов'язаних операцій, кожна з яких виконує певну функцію в структурі ремонтного циклу. Операція в даному контексті розглядається як логічно завершений етап технологічного процесу, що реалізується на одному робочому місці із залученням персоналу відповідної кваліфікації та спеціалізації.

В межах окремої операції виділяють технологічний перехід – найменшу структурну одиницю, яка виконується з використанням одного й того ж технологічного оснащення, на незмінному режимі обробки та в межах однієї установки.

Побудова технологічного маршруту відновлення передбачає визначення доцільної послідовності виконання всіх операцій, підбір необхідного обладнання та оснащення, обґрунтування режимів обробки, а також нормування витрат часу на кожному етапі процесу.

При розробці операційного складу технологічного маршруту особливу увагу слід приділяти раціональності структури операцій, що включає логічне впорядкування технологічних переходів, забезпечення мінімізації переміщень та зменшення простоїв устаткування. Такий підхід дозволяє досягнути оптимального співвідношення продуктивності, точності та економічної ефективності відновлювальних робіт.

2.4 Розрахунок параметрів режимів технологічних операцій та визначення технічних норм часу

У процесі проектування технологічного маршруту відновлення кожної з операцій, пов'язаних з ремонтом маточини заднього колеса, необхідно виконати розрахунок режимів обробки та визначити нормативи часу, які є основою для планування виробничого процесу та оцінки трудомісткості.

Технічна норма часу встановлюється окремо для кожної технологічної операції та враховує тривалість підготовчо-завершальних, основних, допоміжних і контрольних дій.

Основним показником для оцінки часу обробки є штучний час, який розраховується за формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{д}, \quad (2.3)$$

де $T_{оп}$ - оперативний час, хв;

$T_{д}$ - додатковий час, хв.

$$T_{оп} = T_{о} + T_{в}, \quad (2.4)$$

де $T_{о}$ - основний час, хв;

$T_{в}$ - допоміжний час, хв.

Операція 005 – Свердлильна.

Завдання: виконати розсвердлювання отвору під болт кріплення колеса до діаметра Ø 22 мм. Під час виконання свердління або розсвердлювання отворів основний (технологічний) час визначається за аналітичною залежністю, що враховує глибину обробки, подачу та оберти шпинделя. Формула для розрахунку має такий вигляд:

$$T_{ол} = \frac{\pi D l}{1000 V_s} \quad (2.5)$$

де D - діаметр обробки, мм;

l - Довжина обробки, мм;

V - швидкість різання, м / хв;

S – подача, мм/про.

$$D=22 \text{ мм},$$

$$l = 12,5 \text{ мм},$$

$$S = 0,4-0,5 \text{ мм/об},$$

$$S = 0,4 \text{ мм/об},$$

$$V = 26 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя (число обертів) при свердлінні або розсвердлюванні визначається на основі заданої швидкості різання та діаметра інструмента за наступною формулою:

$$n=1000V/\pi d, \quad (2.6)$$

$$n=1000*26/(3,14*22)=376,38 \text{ хв}^{-1},$$

Якщо прийнято частоту обертання $n= 350 \text{ хв}^{-1}$, то для визначення швидкості різання V , формула має вигляд:

$$V = \pi dn/1000=3,14*22*350/1000= 24,18 \text{ м/хв..}$$

$$T_{o1} = \frac{\pi D l}{1000 V_s} = \frac{3,14 * 22 * 12,5}{1000 * 24,18 * 0,4} = 0,09 \text{ хв..}$$

У конструкції маточини передбачено п'ять отворів для болтів кріплення колеса. Згідно з технічними умовами, якщо кількість пошкоджених отворів перевищує дві одиниці, така деталь вважається непридатною до відновлення.

У даному випадку приймаємо до відновлення 2 зношені отвори.

Основний (технологічний) час на операцію визначено як:

$$T_{o1} = 0,09 \cdot 2 = 0,18 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, пов'язаний із налаштуванням, заміною інструменту та переходами:

$$T_{доп} = T_v = 0,93 \text{ хв}$$

Оперативний час обчислюється як сума основного й допоміжного часу:

$$T_{оп1} = 0,18 + 0,93 = 1,11 \text{ хв.}$$

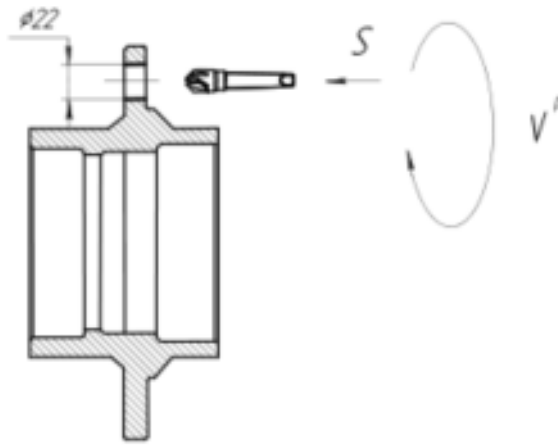


Рис. 2.1. Відновлення маточини заднього колеса: зенкерування отворів під болти кріплення.

У межах технологічного процесу передбачено зенкерування отворів під болти кріплення колеса до діаметра $\varnothing 22,6$ мм. Обробка виконується на вертикально-свердильному верстаті за умов глухого отвору.

Вихідні дані для розрахунку:

Діаметр отвору після зенкерування $D=22,6$ мм;

Глибина обробки $L=12,5$ мм;

Подача $s=0,56$ мм/об (вибрана з допустимого інтервалу для глухих отворів $s=0,3-0,6$ мм/об);

Швидкість різання $V=23$ м/хв.

Розрахунок частоти обертання шпинделя:

$$n=1000*23/(3,14*22,6)=324,1 \text{ хв}^{-1},$$

приймаємо $n = 350 \text{ хв}^{-1}$

Швидкість різання при зенкеруванні визначається на основі геометричних параметрів інструмента та частоти обертання шпинделя за класичною формулою:

$$V = \pi dn/1000=3,14*22,6*350/1000= 24,8 \text{ м/хв};$$

$$T_{o2} = \frac{\pi D l}{1000 V_s} = \frac{3,14 * 22,6 * 12,5}{1000 * 24,8 * 0,56} = 0,064 \text{ хв},$$

Приймаємо 2 отвори для ремонту,

$$T_{o1} = 0,064 * 2 = 0,128 \text{ хв}.$$

Допоміжний час: $T_v = 0,93 \text{ хв}.$

Оперативний час:

$$T_{оп2}=0,128+0,93=1,058 \text{ хв},$$

Розгортання отвору під болт кріплення колеса до $\varnothing 22,7 +0,045 \text{ мм}$.

Завершальним етапом обробки отвору під болт є розгортання, яке забезпечує досягнення необхідної точності та якості поверхні. Обробка здійснюється розгорткою до номінального діаметра 22,7 мм з допуском +0,045 мм, що відповідає полю допуску H11 або H9, залежно від функціонального призначення з'єднання.

$$T_{оз} = \frac{\pi D l}{1000 V_s}$$

$$D=22,7 \text{ мм},$$

$$l=12,5 \text{ мм},$$

$$S=1,12 \text{ мм/об},$$

$$V=6 \text{ м/хв}$$

$$n=1000V/\pi d=1000*6/(3,14*22,7)=84,2 \text{ хв}^{-1},$$

$$\text{приймаємо } n = 84 \text{ хв}^{-1}$$

тоді значення швидкості:

$$V = \pi d n / 1000 = 3,14 * 22,7 * 84 / 1000 = 5,98 \text{ м/хв},$$

$$T_{оз} = \frac{\pi D l}{1000 V_s} = \frac{3,14 * 22,7 * 12,5}{1000 * 5,98 * 1,12} = 0,133 \text{ хв};$$

Приймаємо 2 отвори для ремонту,

$$T_{о1} = 0,133 * 2 = 0,266 \text{ хв}.$$

Допоміжний час: $T_v = 0,93 \text{ хв}$.

Оперативний час:

$$T_{оп3}=0,266+0,93=1,196 \text{ хв},$$

Щоб визначити оперативний час для операції 005, потрібно підсумувати:

$$T_{оп}=1,11+1,058+1,196= 3,364 \text{ хв}.$$

Час на обслуговування робочого місця включає витрати часу, пов'язані з підтриманням належного технічного стану обладнання, інструменту, приладдя, а також з прибиранням робочої зони та усуненням дрібних збоїв у процесі.

$$T_{доп} = 0,06 * T_{оп} = 0,06 * 3,364 = 0,202 \text{ хв}.$$

Штучний час – це час, необхідний на виконання однієї одиниці продукції, який включає:

$$T_{шт} = 3,364 + 0,202 = 3,565 \text{ хв.}$$

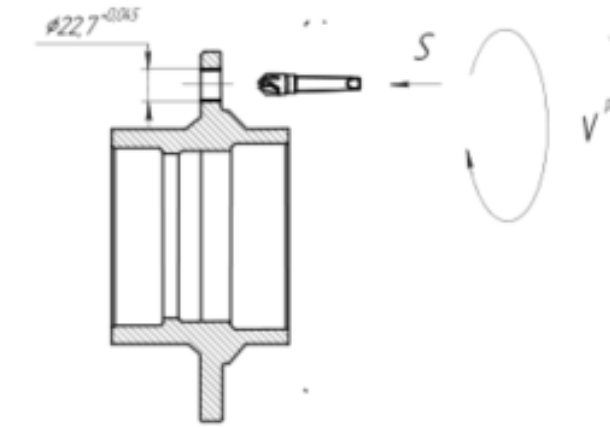


Рис. 3.2. Відновлення маточини заднього колеса: операція 010 – слюсарна.

Операція 010 – Слюсарна.

Етап: запресування відновлювальних втулок у зношені отвори під шпильки кріплення колеса.

Вихідні дані:

Кількість отворів, що підлягають відновленню: 2 шт.

Основний час на одну втулку $T_{o1} = 0,3 \text{ хв.}$

Сумарний основний час $T_o = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ хв.}$

Допоміжний час (підведення інструменту, фіксація) $T_v = 0,2 \text{ хв.}$

$$T_{оп1} = 0,6 + 0,2 = 0,8 \text{ хв.}$$

Свердлити отвори $\varnothing 3,3 \text{ мм}$ на глибину 5 мм .

Приймаємо $T_{o2} = 0,15 \cdot 2 = 0,3 \text{ хв.}$

Допоміжний час $T_v = 0,2 \text{ хв.}$

Оперативний час:

$$T_{оп2} = 0,3 + 0,2 = 0,5 \text{ хв.}$$

Нарізати внутрішнє різьблення М4.

Приймаємо $T_{o3} = 0,4 \cdot 2 = 0,8 \text{ хв.}$

$T_v = 0,2 \text{ хв.}$

Оперативний час:

$$T_{оп3} = 0,8 + 0,2 = 1,0 \text{ хв.}$$

Повернути стопорні гвинти

$$T_{o4} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ хв.}$$

$$T_B = 0,2 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп4} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ хв.}$$

Запиляти стопорні гвинти врівень з основним металом.

$$T_{о5} = 0,2 * 2 = 0,4 \text{ хв.}$$

$$T_B = 0,2 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп5} = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ хв.};$$

Для операції 010 – Слюсарна (запресування втулок) оперативний час розраховується як сума основного та допоміжного часу:

$$T_{оп} = 0,8 + 0,5 + 1,0 + 0,6 + 0,6 = 3,5 \text{ хв.};$$

Час на обслуговування робочого місця для операції 010 (слюсарна – запресування втулок) розраховується як відсоток від оперативного часу.

$$T_{орм} = 0,06 * T_{оп} = 0,06 * 3,5 = 0,21 \text{ хв.};$$

Штучний час – це повна трудова витрата на виготовлення/відновлення однієї деталі, що включає:

$$T_{шт} = 3,5 + 0,21 = 3,71 \text{ хв.}$$

Операція 015 – Свердлильна.

Етап обробки: зенкерування отворів у попередньо запресованих втулках під шпильки кріплення колеса до діаметра Ø 15,7 мм.

$$T_{a1} = \frac{\pi D l}{1000 V_s}$$

$$D = 15,7 \text{ мм,}$$

$$L = 12,5 \text{ мм,}$$

$$s = 0,56 \text{ мм/об,}$$

$$V = 20 \text{ м/хв,}$$

$$n = 1000 V / \pi d = 1000 * 20 / (3,14 * 15,7) = 405,6 \text{ хв}^{-1}.$$

Оперативний час для операції 015 – Свердлильна (зенкерування отворів у втулках до Ø15,7 мм) розраховується як сума основного та допоміжного часу:

$$T_B = 0,93 \text{ хв.};$$

$$T_{оп1} = 0,056 + 0,93 = 0,986 \text{ хв.}$$

Зінкування фаски $1,5 \times 45^\circ$ у запресованих втулках під шпильки кріплення колеса $s=0,14$ мм/об, $v=20$ м/хв..

$$n=1000V/\pi d=1000*20/(3,14*15,7)=405,6 \text{ хв}^{-1};$$

приймаємо $n=400 \text{ хв}^{-1}$;

$$T_{o2} = \frac{\pi D l}{1000 V s} = \frac{3,14 * 15,7 * 1,5}{1000 * 19,72 * 0,14} = 0,027 \text{ хв},$$

Для цього випадку $D=16$ мм, $l=12,5$ мм, $s=0,8$ мм/об, $v=6$ м/хв.

$$n=1000V/\pi d=1000*6/(3,14*16)=119,7 \text{ хв}^{-1};$$

приймаємо $n = 120 \text{ хв}^{-1}$

тоді значення швидкості:

$$V = \pi d n / 1000 = 3,14 * 16 * 120 / 1000 = 6 \text{ м/хв};$$

$$T_{o3} = \frac{\pi D l}{1000 V s} = \frac{3,14 * 16 * 12,5}{1000 * 6 * 0,8} = 0,131 \text{ хв};$$

Допоміжний час для операції: $T_b = 0,93 \text{ хв}$.

$$T_{оп3}=0,131+0,93=1,061 \text{ хв}.$$

Розрахунок оперативного часу для операції 015 – Свердлильна.

$$T_{оп}=0,986+0,097+1,061=2,144 \text{ хв}.$$

Розрахунок часу на обслуговування робочого місця для операції 015

$$T_{орм}=0,06*T_{оп}=0,06*2,144=0,129 \text{ хв}$$

Розрахунок штучного часу для операції 015 – Свердлильна (зенкерування + зінкування):

$$T_{шт}=2,144+0,129=2,273 \text{ хв}.$$

Операція 020 – Внутрішньошліфувальна.

Етап: Обробка посадкових поверхонь під підшипники з метою остаточного відновлення точності й геометрії отворів. Проводиться шліфування двох отворів до діаметрів:

Ø 72,25 мм – посадка під зовнішнє кільце зовнішнього підшипника;

Ø 62,25 мм – посадка під зовнішнє кільце внутрішнього підшипника.

Основний час при внутрішньому шліфуванні розраховується за формулою:

$$T_{a1} = \frac{2\pi D l h f}{1000 V s t} \quad (2.7)$$

де h – припуск на обробку, мм;

f – коефіцієнт, що враховує число проходів без поперечної подачі;

t – поперечна подача (глибина різання), мм/прохід;

Шліфування посадкової поверхні під зовнішнє кільце зовнішнього підшипника до розміру $\varnothing 72,25$ мм.

$$D1=72,25 \text{ мм},$$

$$L=25 \text{ мм},$$

$$h=0,125 \text{ мм}$$

$$f=1,5 \quad v=36 \text{ м/хв}$$

$$s=10 \text{ мм/про}$$

$$t=0,009 \text{ мм/дв.хід.}$$

$$T_{01} = \frac{2\pi D l h f}{1000 V_{st}} = \frac{2 * 3,14 * 72,25 * 25 * 0,125 * 1,5}{1000 * 36 * 10 * 0,009} = 0,657 \text{ хв.}$$

Допоміжний час для операції $T_B = 0,45$ хв.

Розрахунок оперативного часу:

$$T_{оп1} = T_{01} + T_B = 0,657 + 0,45 = 1,107 \text{ хв.}$$

Шліфування посадкового отвору під зовнішнє кільце внутрішнього підшипника до розміру $\varnothing 62,25$ мм.

$$D2=62,25 \text{ мм},$$

$$L=15 \text{ мм},$$

$$h=0,125 \text{ мм}$$

$$f=1,5 \quad v=36 \text{ м/хв}$$

$$s=10 \text{ мм/про}$$

$$t=0,009 \text{ мм/дв.хід.}$$

$$T_{02} = \frac{2\pi D l h f}{1000 V_{st}} = \frac{2 * 3,14 * 62,25 * 15 * 0,125 * 1,5}{1000 * 36 * 10 * 0,009} = 0,566 \text{ хв}$$

Допоміжний час для операції: $T_B = 0,45$ хв.

Розрахунок оперативного часу:

$$T_{оп2} = T_{02} + T_B = 0,566 + 0,45 = 1,016 \text{ хв.}$$

Розрахунок оперативного часу для операції 020 –

Внутрішньошліфувальна:

$$T_{оп} = 1,107 + 1,016 = 2,123 \text{ хв.}$$

Розрахунок часу на обслуговування робочого місця:

$$T_{\text{орм}} = 0,06 * T_{\text{оп}} = 0,06 * 2,123 = 0,128 \text{ хв}$$

Розрахунок штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = 2,123 + 0,128 = 2,251 \text{ хв}$$

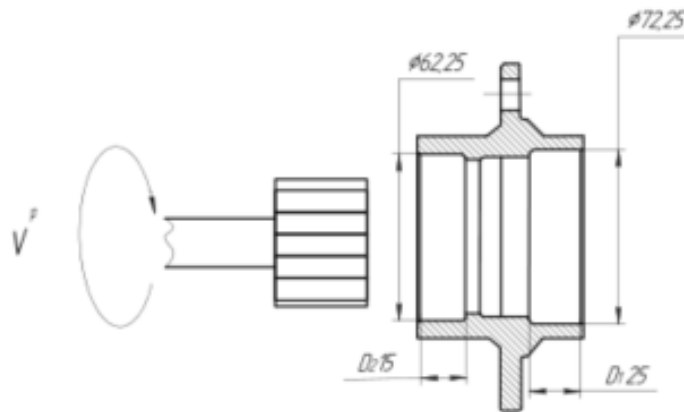


Рис. 3.3. Відновлення посадкових поверхонь під підшипники маточини заднього колеса.

Операція 025 – Гальванічне відновлення.

Розрахунок оперативного часу:

$$T_o = (1000 * 60 h \gamma) / (D_k C \eta) \quad (2.6)$$

$$\gamma = 7,8;$$

$$C = 1,042 \text{ Ап/год};$$

$$\eta = 85 \dots 95\%, \%$$

$$h = 0,3 \text{ мм},$$

$$D_k = 40 \text{ А/дм}^2,$$

$$\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3,$$

$$C = 1,095 \text{ Ап/год};$$

$$T_o = (1000 * 60 * 0,3 * 7,8) / (40 * 1,042 * 90) = 37,43 \text{ хв.}$$

Для гальванічного процесу час основної операції приймається рівним штучному часу, оскільки в умовах паралельного виконання супровідних дій (наприклад, контролю температури, підготовки електроліту та налаштування режиму струму) фактична тривалість одного циклу осадження співпадає із повним технологічним циклом обробки однієї деталі. Таким чином, немає

потреби виокремлювати додаткові часові витрати, оскільки вони входять у загальний процес і не подовжують його тривалість.

$$T_{шт}=37,43 \text{ хв.}$$

Операція 030 – Внутрішнє шліфування.

Виконати остаточне шліфування отвору під установче місце зовнішнього кільця зовнішнього підшипника до розрахункового діаметра $\varnothing \begin{smallmatrix} 72 \\ -0.021 \\ -0.051 \end{smallmatrix}$ мм. Отвір під зовнішнє кільце внутрішнього підшипника шліфується до $\varnothing \begin{smallmatrix} 62 \\ -0.021 \\ -0.051 \end{smallmatrix}$ мм.

Основний час при внутрішньому шліфуванні отвору під зовнішнє кільце підшипника розраховується за такою формулою:

$$D1=72 \text{ мм,}$$

$$L=25 \text{ мм,}$$

$$h=0,125 \text{ мм}$$

$$f=1,5,$$

$$v=36 \text{ м/хв}$$

$$s=10 \text{ мм/про}$$

$$t=0,009 \text{ мм/дв.хід.}$$

$$T_{01} = \frac{2\pi D1 h f}{1000 V_{st}} = \frac{2 * 3,14 * 72 * 25 * 0,125 * 1,5}{1000 * 36 * 10 * 0,009} = 0.655 \text{ хв..}$$

Допоміжний час для операції: $T_v = 0,45 \text{ хв.}$

Розрахунок оперативного часу:

$$T_{оп}=T_{01}+T_v=0,655+0,45=1,105 \text{ хв;}$$

Щоб виконати розрахунок основного часу при шліфуванні отвору під зовнішнє кільце внутрішнього підшипника, скористаємося стандартною формулою.

$$D2=62 \text{ мм,}$$

$$L=15 \text{ мм,}$$

$$h=0,125 \text{ мм}$$

$$f=1,5,$$

$$v=36 \text{ м/хв}$$

$$s=10 \text{ мм/про}$$

$$t=0,009 \text{ мм/дв.хід.}$$

$$T_{02} = \frac{2\pi D l h f}{1000 V_{st}} = \frac{2 * 3,14 * 62 * 15 * 0,125 * 1,5}{1000 * 36 * 10 * 0,009} = 0,338 \text{ хв.}$$

Допоміжний час для операції: $T_v = 0,45 \text{ хв.}$

Розрахунок оперативного часу:

$$T_{оп} = T_{02} + T_v = 0,338 + 0,45 = 0,788 \text{ хв.}$$

Для визначення оперативного часу операції 030 (внутрішньошліфувальна), яка включає шліфування двох отворів – під зовнішнє кільце зовнішнього та внутрішнього підшипників, потрібно підсумувати основний час обробки обох отворів:

$$T_{оп} = 1,105 + 0,788 = 1,893 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця зазвичай визначається як частка від загального оперативного часу, що враховує витрати часу на налаштування, підготовку інструменту, прибирання тощо.

$$T_{орм} = 0,09 * T_{оп} = 0,06 * 1,893 = 0,114 \text{ хв.}$$

Штучний час включає оперативний час, допоміжний час і час на обслуговування робочого місця:

$$T_{шт} = 1,893 + 0,114 = 2,007 \text{ хв.}$$

Загальна тривалість процесу відновлення маточини заднього колеса автомобіля становить 51,236 хвилини, що включає:

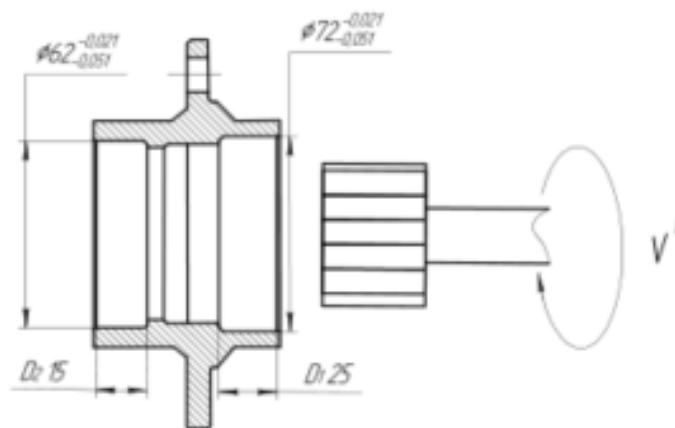


Рис. 3.4. Відновлення отворів підшипникових посадок маточини заднього колеса.

2.5 Розрахунок необхідної кількості обладнання та площ виробничих дільниць для реалізації технологічного процесу

Для забезпечення ефективної реалізації технологічного маршруту відновлення задньої маточини колеса необхідно визначити кількість одиниць обладнання – зокрема металорізальних верстатів, стендів, установок та допоміжного оснащення. Розрахунок здійснюється із врахуванням трудомісткості операцій, планового фонду робочого часу обладнання, а також коефіцієнта його використання впродовж змінної.

Кількість одиниць кожного типу устаткування визначається за формулою:

$$X_i = \frac{T_{шкi} * N}{F_{д.о.} * \eta_{з.н.} * 60} \quad (6.8)$$

X_i – необхідна кількість одиниць обладнання i -го найменування, шт.;

$T_{шкi}$ – сумарна норма часу на виконання відповідних технологічних операцій на даному типі устаткування, хвилин;

$F_{эф}$ – ефективний фонд часу роботи одного верстата за рік, хвилин;

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження устаткування (для серійного виробництва приймається $\eta_{з.н.} = 0,8$).

У розрахунках для вертикально-свердильного верстата 2Н125, який використовується при виконанні операцій 005 і 015 (свердильні й зенкерувальні процеси), необхідно визначити загальний нормативний час виконання робіт на цьому обладнанні. Отже:

$$X_1 = \frac{(3,56 + 2,273) * 4130}{3224 * 0,8 * 60} = 0,172$$

Операція 005 та 015 – свердильні роботи:

Використовується вертикально-свердильний верстат типу 2Н125.

З урахуванням розрахункових норм часу та навантаження приймаємо 1 одиницю.

Операція 010 – слюсарна обробка:

Проводиться на слюсарному верстаті, що забезпечує ручні та механізовані операції з обробки поверхонь.

Для покриття потреб виробництва достатньо 1 робочого місця.

Операції 020 та 030 – внутрішнє шліфування:

Виконується за допомогою внутрішньошліфувального верстата моделі 3K227B, який дозволяє здійснювати високоточну обробку внутрішніх поверхонь отворів.

Приймається 1 верстат на всю сукупність шліфувальних операцій.

$$X_3 = \frac{(2,251 + 2,007) * 4130}{3224 * 0,8 * 60} = 0,114$$

Приймається, що кількість обладнання для виконання гальванічної операції становить $X_3 = 1$.

Для реалізації операції 025 – гальванічне відновлення передбачено застосування спеціалізованої установки, що реалізує процес локального залізнення в проточному електроліті. Технологічна система створена на основі модернізованого вертикально-розточувального верстата, до конструкції якого внесені необхідні зміни для забезпечення стабільних параметрів електролітичного осадження заліза на внутрішніх посадкових поверхнях.

Застосування подібної установки забезпечує високу точність нанесення покриття, контроль параметрів процесу в реальному часі, а також зручну інтеграцію в загальний маршрут відновлення. Обладнання дає змогу ефективно виконувати регенерацію зношених ділянок, зокрема отворів під підшипники маточини заднього колеса.

$$X_3 = \frac{37,43 * 4130}{3224 * 0,8 * 60} = 0,929$$

Прийнято значення кількості обладнання $X_4 = 1$.

Підсумкові дані, отримані в результаті розрахунків необхідної кількості технологічного устаткування для виконання операцій з відновлення маточини заднього колеса, дозволяють сформулювати перелік основного обладнання, що забезпечує реалізацію повного виробничого маршруту. До складу включено відповідні верстати за видами операцій: свердлильні, шліфувальні, гальванічні установки та слюсарне оснащення.

$$I = D * F \quad (2.9)$$

де I – сила анодного або катодного струму, А

D – катодна щільність струму, А/дм²,

F – площа поверхні, що відновлюється деталі, дм^2 , визначається за формулою:

$$F = \pi d L \quad (2.10)$$

де d – діаметр посадкової поверхні,

L – довжина отвору.

З урахуванням того, що процедуру залізнення проходять дві посадкові поверхні, слід забезпечити стабільність режиму електролітичного осадження по всій контактній площі. Це обумовлює необхідність відповідного підбору джерела струму з урахуванням загальної площі покриття, густини струму та часу технологічного циклу.

$$d1=0,7195 \text{ дм}, d2=0,62 \text{ дм}, L1=0,25 \text{ дм}, L2=0,15 \text{ дм}.$$

$$F = \pi * 0.7195 * 0,25 + \pi * 0.62 * 0,15 = 0,858 \text{ дм}^2.$$

$$\text{тоді } I = 40 * 0,858 = 34,32 \text{ А}.$$

Таблиця 2.2 – Підсумкові дані щодо обґрунтування кількості обладнання для реалізації технологічного маршруту відновлення маточини колеса.

№ з/п	Найменування операції	Техн. час, хв	Тип та марка обладнання	Ефективний фонд часу, год	Розрахункова кількість, од.
005	Свердлильна	3,565	Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	3868,8	~0,96
010	Слюсарна	3,710	Верстат слюсарного оснащення	3868,8	~0,96
015	Свердлильна (з додатковим оснащенням)	2,273	Електросвердлильна машина ІЕ-1003Б	3868,8	~0,59
020	Внутрішньошліфувальна	2,251	Внутрішньошліфувальний верстат 3К227В	3868,8	~0,58

030	Внутрішньошліфувальна	2,007	Внутрішньошліфувальний верстат 3К227В (спільний з попередньою оп.)	3868,8	~0,52
025	Гальванічна (залізнення)	37,430	Установка для осадження заліза (на базі переобладнаного розточувального верстата)	3868,8	~1,45
—	Промивання після гальваніки	—	Ванна для водяної промивки	—	—

Для повноцінної реалізації передбаченого технологічного процесу, окрім основного комплексу обладнання, додатково передбачається встановлення ще одного верстата, призначеного для виконання підготовчих операцій у межах гальванічного відновлення. Також необхідно передбачити наявність допоміжних технічних засобів, а саме:

- ванни для приготування електролітного розчину;
- ванни для здійснення нейтралізації відпрацьованих розчинів;
- дистилятора для регулювання щільності робочого електроліту.

Згідно з загальноприйнятими підходами до організації робочого простору в умовах ремонтного виробництва, подальше проєктування здійснюється поетапно. Першим кроком є формування табеля застосовуваного основного технологічного обладнання, який складається на основі раніше проведених розрахунків необхідної кількості обладнання. Зведена інформація про відповідні одиниці устаткування представлена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. обладнання робочого місця для відновлення маточини колеса

№	Найменування обладнання	Модель, тип, характеристика	Кількість	Вст. потуж., кВт	Габаритні розміри в плані, мм	площа м ²
1	Ванна для приготування нейтралізації розчину	нестанд.	1		650×550	0,36
2	Ванна для приготування електроліту	нестанд.	1		650×550	0,36
3	Ванна для промивання у гарячій воді	нестанд.	1		650×550	0,36
4	Ванна для промивання у холодній воді	нестанд.	1		650×550	0,36
5	Верстат слюсарний металевий	ПИ-2	2		1550×800	2,48
6	Дистилятор	АДС-15	1	10,5	310×450	0,76
7	Інструментальна шафа	3004	1		950×500	0,475
8	Верстат вертикально-свердлильний	2Н125	1	2,8	1130×805	0,91
9	Верстат внутрішньошліфувальний	3К227В	1	4	2500×1490	3,73
10	Стелаж		11		1400×600	7,76
11	Встановлення позаванного залізнення	Переоб. вертикально-свердл. верстат	1	4	2350×685	3,22
12	Електрична свердлильна машина	ІЕ-1003Б	1	0,27	-	-

Розрахунок площі виробничого приміщення для реалізації технологічного процесу відновлення маточини заднього колеса виконується за наступною узагальненою формулою:

$$F = \sum f_{об} * K, \quad (2.11)$$

$$K = 3,0-4,5.$$

$$F = (0,36 * 4 + 2,48 + 0,76 + 0,475 + 0,91 + 3,73 + 5,88 + 3,22) * 4,5 = 100,028 \text{ м}^2.$$

Для реалізації розробленого технологічного процесу прийнято площу виробничого приміщення у розмірі 108 м², що відповідає нормативним вимогам до організації відновлювальних дільниць.

Габаритні розміри дільниці становлять:

довжина

$$L = 12000 \text{ мм (12 м)};$$

ширина

$$B = 9000 \text{ мм (9 м)}.$$

Організація розміщення обладнання у межах цієї площі здійснюється з урахуванням чинних норм технічної безпеки, ергономіки робочих місць, а також правил експлуатації металообробного й допоміжного обладнання. Відстані між одиницями обладнання, а також між обладнанням та конструктивними елементами приміщення (стінами, колонами, проходами) забезпечують безпечне пересування персоналу, зручний доступ до обладнання, евакуаційні шляхи та зони для обслуговування.

Таке компонування дозволяє оптимізувати логістику всередині дільниці, мінімізуючи час на міжопераційні переміщення та сприяючи підвищенню загальної ефективності процесу відновлення деталей.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок пневматичної підвіски транспортного засобу

Вибір пневматичної опори (пневмоподушки) здійснюється з урахуванням двох ключових характеристик: зовнішнього діаметра сильфона та максимально допустимого ходу робочого елемента. Зокрема, діаметр сильфона впливає на здатність пневмоподушки сприймати навантаження, що виникають під час експлуатації транспортного засобу.

Максимально допустиме навантаження, яке може бути передане через пневматичну опору, обчислюється шляхом множення номінального робочого тиску повітря у системі на ефективну площу поперечного перерізу сильфона. Такий підхід дозволяє забезпечити необхідну вантажопідйомність підвіски з урахуванням параметрів пневмобаллона та динамічних характеристик автомобіля.

$$M = P_{\text{пов}} \cdot S_{\text{е}}, \quad (3.1)$$

$$M = 0,7 \cdot 340 = 240.$$

де M – сила навантаження, яка діє на пневматичну опору;

$P_{\text{пов}}$ – номінальний робочий тиск повітря у середині пневмоподушки, що для даного випадку становить 0,7 МПа (7 атмосфер);

$S_{\text{еф}}$ – приведена (ефективна) площа робочої поверхні сильфона, через яку передається тиск.

Для подальших розрахунків визначається значення площі дії тиску повітря на внутрішню поверхню пневмобаллона – тобто площа робочої зони, що безпосередньо сприймає навантаження.

$$S = F / P_{\text{в}} \cdot n \quad (3.2)$$

F – розрахункове (номінальне) зусилля, що передається на одну пневматичну подушку;

$P_{\text{в}}$ – робочий надлишковий тиск повітря у пневматичній опорі;

n – кількість пневмобалонів, які одночасно беруть участь у підйомі або підтриманні маси конструкції;

S – ефективна площа робочої поверхні пневмоподушки, виражена в

квадратних сантиметрах (см²), через яку реалізується передача зусилля на опорну систему.

$$S = \frac{480}{0.7 * 10^3 * 2} = 1,37 \text{ м}^2 = 137 \text{ см}^2$$

Ефективна площа сильфона визначається шляхом розрахунку площі робочої зони пневматичної опори за наступною залежністю: вона відображає ділянку, на яку безпосередньо впливає тиск стисненого повітря, що й забезпечує формування піднімального або підтримувального зусилля в системі пневматичної підвіски.

$$S_9 = S / 1.2; \quad (3.3)$$

$$S_e = \frac{137}{1.2} = 114$$

$$S = \pi \cdot D^2 / 2. \quad (3.4)$$

$$S = \frac{3.14 * 9^2}{2} = 127$$

Підставивши наведені вище вирази до загального рівняння, що описує граничне навантаження, яке сприймається пневматичною опорою, можна отримати спрощену та зручну для практичного застосування формулу визначення діаметра пневмоподушки.

$$D = 1.2 \cdot (M / P_{\text{возд}})^{1/2}. \quad (3.5)$$

$$D = 1.2 \cdot (240 / 0.7)^{1/2} = 205.$$

Оскільки значення робочого тиску в пневмосистемі відоме заздалегідь, для визначення діаметра пневматичної опори необхідно попередньо розрахувати максимальне навантаження M , яке вона має сприймати. Один із практичних підходів до оцінювання цього навантаження полягає у використанні паспортної повної маси транспортного засобу, яку ділять на кількість опор (як правило, чотири колеса). Водночас, враховуючи динамічні навантаження, що виникають під час руху, отриману величину слід скоригувати шляхом збільшення на 20–25 %, що дозволяє закласти необхідний експлуатаційний запас міцності.

На наступному етапі було виконано розрахунок необхідної величини ходу пневматичної подушки, що забезпечує ефективну роботу підвіски, за

відповідною розрахунковою залежністю.

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}, \quad (3.6)$$

$$\Delta H = 340_{\max} - 170_{\min} = 170$$

де $H_{\max}$ – максимальна висота сильфона;

$H_{\min}$ – висота сильфона в стислому стані.

Одержану величину ходу пневматичної опори необхідно відкоригувати так, щоб вона була не меншою за хід амортизатора. Це дозволяє забезпечити повне використання робочого діапазону амортизатора, запобігаючи перенавантаженню або пошкодженню пневмопідвіски, особливо під час підйому транспортного засобу домкратом.

Визначення пружних характеристик пневматичної підвіски автомобіля

Для аналізу та розрахунку характеристик пневматичної підвіски використовуються такі вхідні дані:

Статичне осідання підвіски у спорядженому стані $f_{\text{ст}}$, – 0,070 м;

Жорсткість підвіски у спорядженому стані C_0 – 20 Н/м;

Номінальний тиск у пневмобалоні P_B – 7 Па;

Номінальне навантаження на пневмобалон F – 480 Н;

Активна довжина пневмобалона Δ – 0,170 м;

Статичне навантаження на підвіску у спорядженому стані Q_0 – 545 Н.

На підставі цих параметрів здійснюється розрахунок жорсткості пневмобалонів у заданому стані експлуатації.

$$C_{BO} = 0,1 \cdot C_0. \quad (3.7)$$

$$C_{BO} = 0,1 \cdot 20 = 2.$$

Розрахунок жорсткості пневматичної пружини у спорядженому стані виконується за класичною формулою:

$$C_{PO} = 0,9 \cdot C_0. \quad (3.8)$$

$$C_{PO} = 0,9 \cdot 20 = 18.$$

Для визначення ефективної площі пневматичної подушки (балона) використовується така формула:

$$F_{BE} = \frac{F}{P_B} \quad (3.9)$$

$$F_{BE} = 480/7 = 68.$$

Статичне навантаження на один пневматичний балон у спорядженому стані визначається за формулою:

$$Q_{BO} = 0,1 \cdot Q_o \quad (3.10)$$

$$Q_{BO} = 0,1 \cdot 545 = 54,5.$$

Визначення надлишкового тиску в пневматичних балонах у режимі повного завантаження транспортного засобу здійснюється на основі відомих величин статичного навантаження та ефективної площі робочої поверхні балона.

$$P_{io} = \frac{Q_{BO}}{2 \cdot F_{BE}} \quad (3.11)$$

$$P_{io} = \frac{54,5}{2 \cdot 68} = 0,40$$

3.2 Аналіз результатів моделювання показників плавності ходу

Математичну модель, призначену для оцінювання комфортності руху легкового автомобіля, реалізовано у середовищі MATLAB із застосуванням бібліотеки динамічного моделювання Simulink. Під час чисельного експерименту єдиним зовнішнім збурювальним чинником вважали параметри мікропрофілю дорожнього покриття, які апроксимовано гармонічною (синусоїдальною) функцією. Амплітуду (висоту) та крок нерівностей вводили як вхідні сигнали до моделі, що дало змогу дослідити їхній вплив на показники плавності ходу.

Таблиця 3.1 – Параметри досліджуваних типів дорожнього полотна.

Тип дорожнього покриття	Крок нерівності, м	Висота нерівності q_0 , м
1. Асфальт	4	0,008
2. Грунт	3	0,025

Результати чисельного моделювання системи підвіски представлено на рисунках 3.1–3.4. При їх аналізі варто акцентувати увагу на тому, що резонансні частоти для базової та пневматичної підвісок відрізняються, що свідчить про різну динамічну поведінку конструкцій.

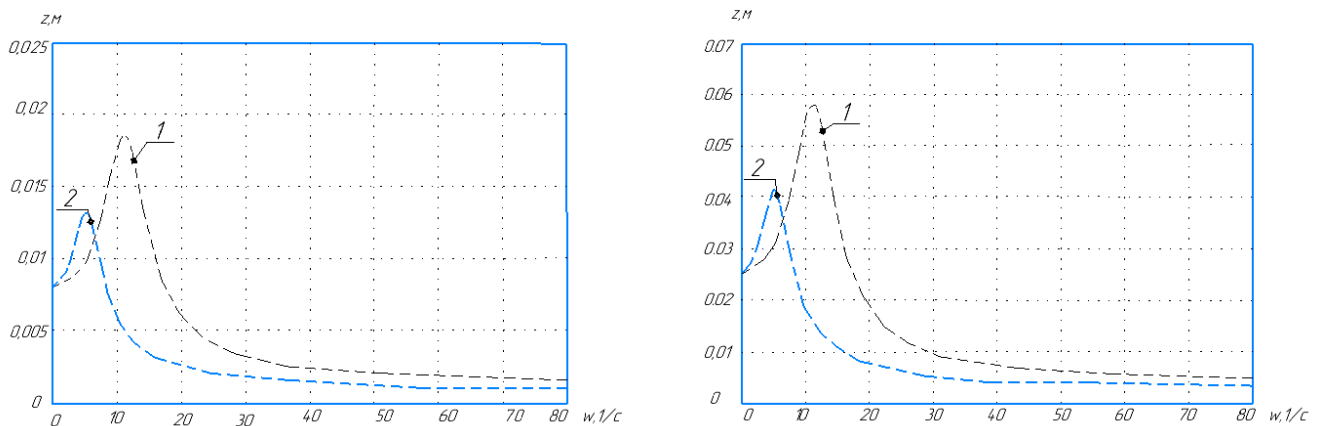


Рис. 3.1. Графік вертикальних переміщень кузова транспортного засобу залежно від типу підвіски та дорожнього покриття:

а – асфальтове покриття; б – ґрунтова поверхня; 1 – задня вісь із традиційною (базовою) підвіскою; 2 – задня вісь із пневматичною підвіскою.

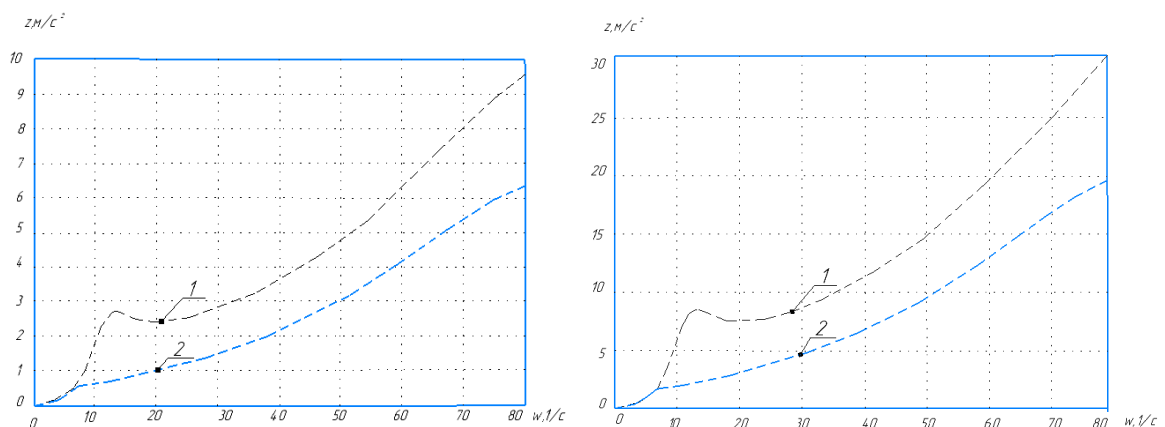


Рис. 3.2. Динамічні характеристики: вертикальні прискорення кузова автомобіля при русі по різних типах дорожнього полотна:

а – дорожнє покриття типу асфальт; б – ґрунтове покриття; 1 – задній міст із типовою (базовою) конструкцією підвіски; 2 – задній міст із адаптивною пневматичною підвіскою.

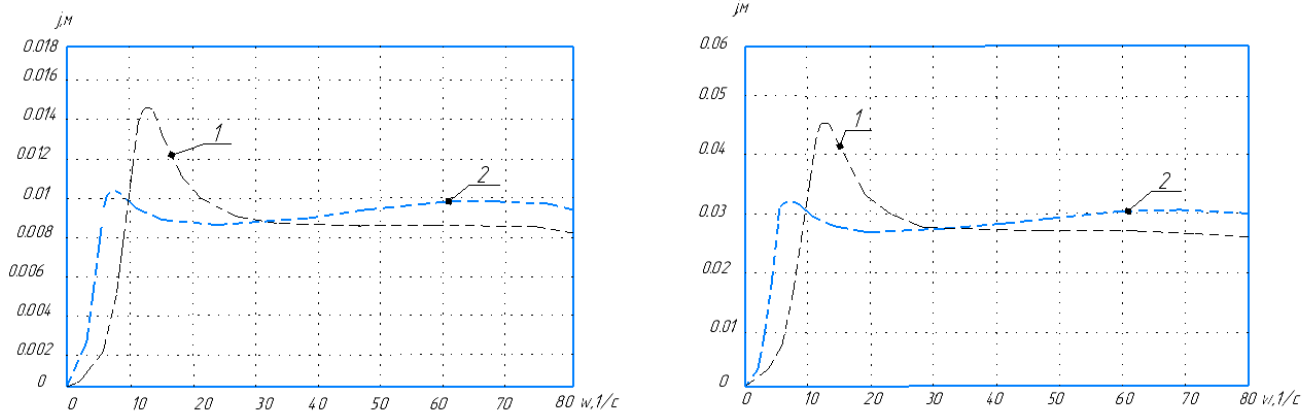


Рис. 3.3. Залежність величини деформації елементів підвіски автомобіля від типу покриття та конструкції ресорно-амортизаційної системи:

а – асфальтове дорожнє покриття; б – ґрунтова ділянка шляху; 1 – задній міст із традиційною (жорсткою) конструкцією підвіски; 2 – задній міст, обладнаний пневматичною підвіскою.

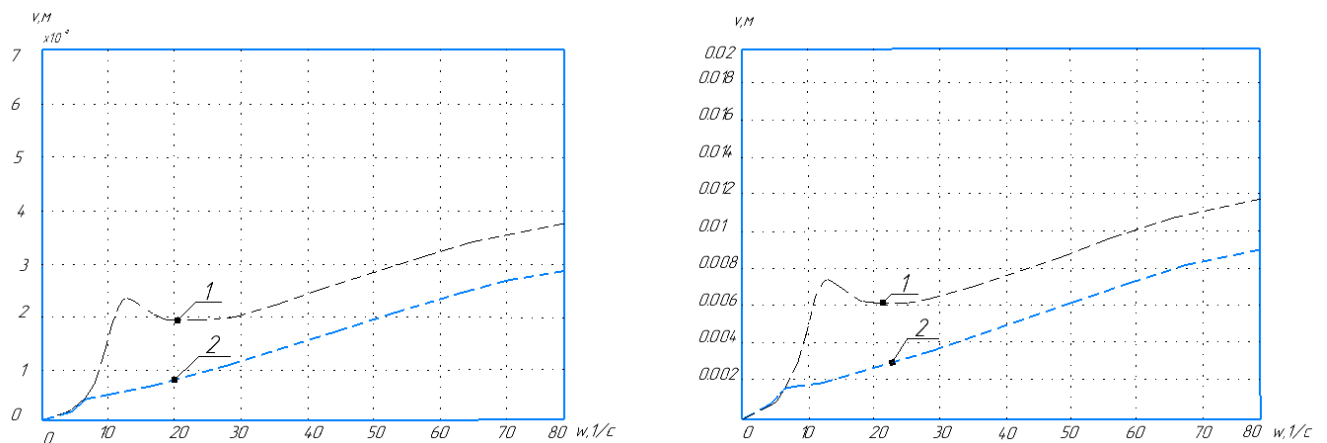


Рис. 3.4. Графік зміни деформації шин автомобіля залежно від типу підвіски та характеру дорожнього покриття:

а – асфальтоване покриття; б – ґрунтове дорожнє покриття; 1 – задній міст із базовою (пружинною) конструкцією підвіски; 2 – задній міст із пневматичною системою підресорювання.

Особливо інформативним є порівняння кількісних характеристик плавності ходу в резонансній зоні – таких як амплітуди вертикальних переміщень остову й деформацій елементів підвіски – а також при роботі на високих частотах, де визначальними є пікові значення прискорень кузова та змінюваність радіального стискання шин.

3.3 Конструктивна будова пневматичного балона

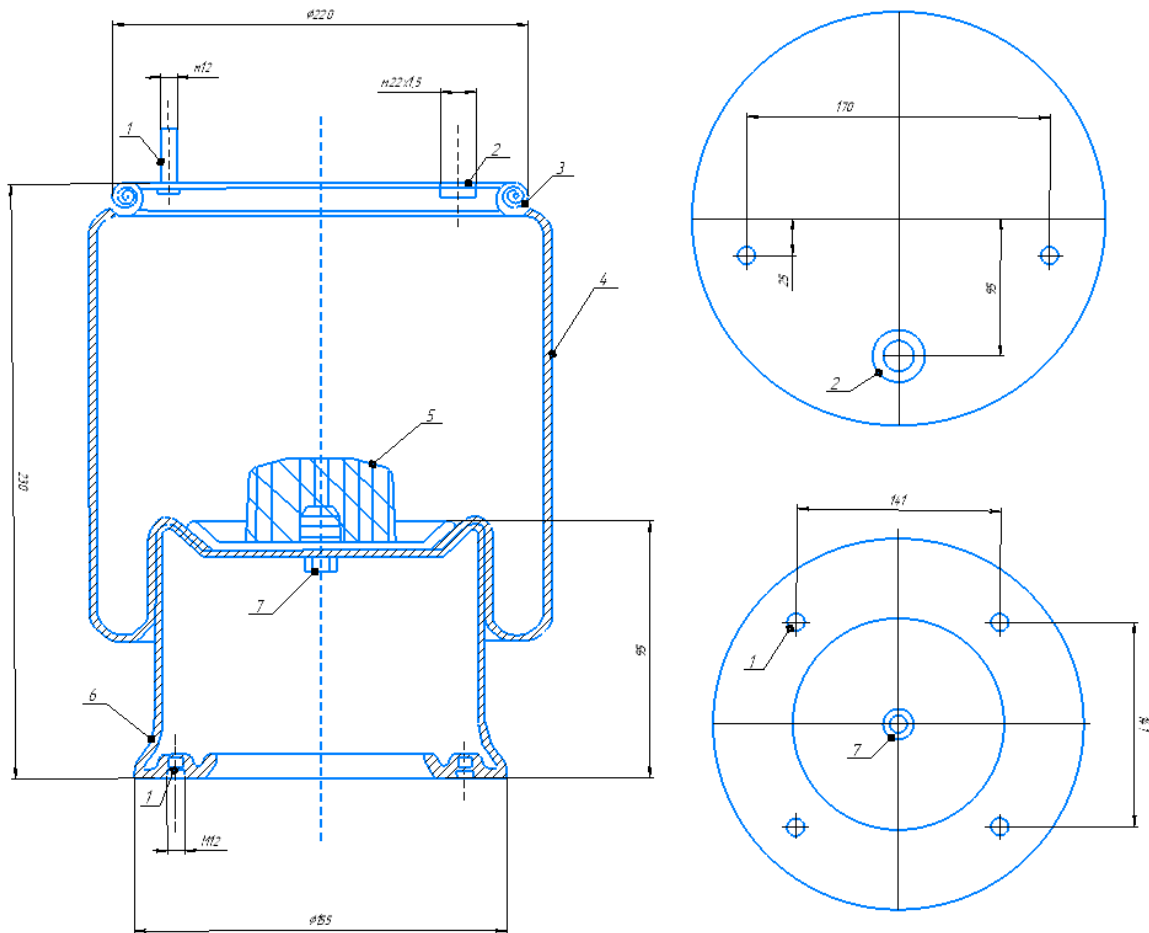


Рис. 3.5 Будова пневмобалону.

Шпилька – нерухомий елемент пневматичної системи, що забезпечує фіксацію балона до елементів підвіски транспортного засобу;

Комбінована шпилька – деталь подвійного функціонального призначення, що одночасно виконує кріплення балона та слугує каналом подачі стисненого повітря;

Бортова накладка (верхня опорна пластина) – складова, яка встановлюється на корпус балона ще на етапі його виготовлення, слугує жорстким елементом з'єднання;

Герметичний чохол – основний функціональний елемент пневмобалона, багат шарової конструкції, що включає внутрішній герметизуючий шар, двошаровий кордовий каркас і захисний зовнішній шар, що забезпечує міцність і еластичність при зміні тиску;

Буфер деформації (демпфер) – еластичний елемент, здебільшого гумовий,

що запобігає жорстким ударам кузова об елементи шасі у випадку розгерметизації або критичної втрати тиску в балоні;

Шток – конструктивна деталь, виготовлена з легких і міцних матеріалів (алюмінієвих сплавів, композитів або технічного пластику), яка забезпечує надійне кріплення балона до несучих частин підвіски за допомогою нарізного з'єднання або шпильок;

Кріпильний болт штока – механічний з'єднувальний елемент, що забезпечує фіксацію штока до корпусу балона та, в окремих випадках, виконує функцію основного кріплення балона до конструкції підвіски.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки при роботі з компресорними установками

При експлуатації компресорних установок може статися вибух, основними причинами якого є:

- неправильний монтаж, незадовільне обслуговування і утримання;
- перегрівання стінок компресора внаслідок значного підвищення температури стисненого повітря;
- порушення роботи системи змащування, низька якість мастильних речовин, загоряння і вибух парів змащувальних речовин, самоспалахування газоповітряної суміші;
- перевищення допустимого тиску;
- засмоктування забрудненого повітря;
- накопичення нагару, відкладання окислів заліза на холодних частинах системи;
- несправність контрольного манометра, запобіжних клапанів та інших приладів безпеки;
- виникнення зарядів статичного струму на корпусі при інтенсивному витрачанні стисненого повітря.

Найбільш поширеною причиною аварій компресорів є підвищення розрахункового тиску і температури, що призводить до зміни структури металу, порушення його механічної цілісності, а відтак і до вибуху.

Контроль і регулювання величини тиску стисненого повітря у компресорі здійснюється запобіжними клапанами, які встановлюються на всіх ступенях стиснення і автоматичним регулятором тиску, який при перевищенні допустимого тиску переводить компресор на холостий хід.

Запобіжні клапани автоматично знижують тиск до нормального і випускають надлишок повітря в атмосферу. Тиск повітря (при робочому від 3 до 60 атм.) регулюється так, щоб не перевищувати робочий понад 15 %. Запобіжні клапани перевіряються під тиском один раз на місяць. Один раз на 6

місяців випробовуються всі манометри контрольним манометром, який у свою чергу перевіряється один раз на рік.

Вимоги безпеки, що ставляться до обслуговування компресорних установок.

Усім робітникам, що обслуговують компресорні установки, видається інструкція з безпечної їх експлуатації. До обслуговування компресорних установок допускаються особи не молодші 18 років, які мають посвідчення на право їх експлуатації, відповідний стан здоров'я та знання з питань промислової і пожежної безпеки.

Перед початком роботи машиніст зобов'язаний впевнитись у справності установки, перевірити систему змащування, охолодження і здійснити пуск відповідно до Інструкції.

Перед пуском компресора у роботу необхідно встановити продувальні крани холодильника і повітрозбірника, а також роздавальний вентиль у положення "Відкрито". Включивши двигун перевірити роботу компресора на холостому ходу, закрити спочатку роздавальний вентиль, а потім продувні крани. Після цього за допомогою роздавального вентиля або продувних кранів відрегулювати робочий тиск повітря у повітрозбірнику (ресивері).

При роботі компресорних установок обслуговуючий персонал веде щозмінний запис про витрату компресорного масла. Витрата масла для змащування циліндрів і сальників контролюється кожну зміну. Вона не має перевищувати величину, вказану у заводській інструкції.

Зберігають масло у приміщенні компресорної установки тільки у спеціальному оцинкованому посуді з написом "Чисте компресорне масло" у кількості, що не перевищує тижневої потреби.

Обслуговуючий персонал під час роботи компресорної установки має контролювати:

- тиск і температуру повітря після кожного ступеня стиснення та після холодильників;
- безперервність надходження у компресори і холодильники охолодженої води;
- тиск, температуру і рівень масла у системі змащування.

У журналі роботи машиніст має записувати час пуску і зупинки компресора, причину зупинки, проведені періодичні перевірки запобіжних клапанів і манометрів, спуск конденсату і масла і т. ін.

Журнал роботи перевіряється і щодобово підписується особою, яка відповідає за безпечну експлуатацію компресорної установки. На кожен компресорну установку, що знаходиться у роботі, має бути заведена технічна документація відповідно до Правил та інших регламентів.

Компресорну установку негайно зупиняють у випадках, якщо:

- манометри на будь-якому ступені компресії показують тиск, що перевищує допустиму межу;
- манометр системи змащування механізму руху показує тиск, нижчий від допустимої нижньої межі;
- раптово припинилася подача води для охолодження;
- відчутні стуки, удари в компресорі або в двигуні, чи виявлені інші несправності, що можуть призвести до аварії;
- температура стисненого повітря вища за гранично допустиму норму, встановлену паспортними даними;
- наявний запах горіння або диму із компресора або електродвигуна; помітно зростає рівень вібрації компресора або електродвигуна. При появі несправності навіть в одному з приладів безпеки, компресор не може бути запущений у роботу. Під час перерви у роботі компресорну установку необхідно зупинити.

Усувати будь-яку несправність, виявлену на контрольно-вимірювальних приладах, дозволяється тільки у присутності особи, яка несе повну відповідальність за безпечну експлуатацію компресорної установки.

Операції, які необхідно виконати перед початком роботи компресорів:

Перед початком роботи необхідно перевірити стан і надійність кріплення арматури, захисного заземлення, контрольно-вимірювальних і сигнальних приладів, а також наявність і справність пломб на запобіжних клапанах, манометрах та іншій апаратурі, яка має бути опломбованою.

Кожний запобіжний клапан компресорної установки має бути відрегульований і опломбований, мати пристрій для його примусового

відкривання під час роботи, натяжні гайки пружинних запобіжних клапанів також мають бути опломбованими. Вантаж важільних запобіжних клапанів після регулювання закріплюють, закривають металевими, кожухами і опломбовують. Після регулювання запобіжних клапанів необхідно скласти відповідний акт.

Відносна вологість повітря, що засмоктується у компресор, не може перевищувати 60 %. До подачі повітря у циліндри компресора, його необхідно очистити від пилу, бризок масла, водяної пари і інших забруднень. Потрапляння забрудненого повітря у компресор веде до тертя, що утворює заряд статичного струму. Довжина іскри при цьому може досягати 20 мм. Захистом від статичного струму передбачено влаштування заземлення.

4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації абразивних кругів

Робота з абразивними інструментами представляє підвищену небезпеку унаслідок високих швидкостей різання, можливості розриву круга, утворення абразивного пилу і наявності аерозолів СОЖ. Оператор, що працює на шліфувальних і заточних верстатах абразивними інструментами, повинен добре знати і дотримувати правила техніки безпеки. Недотримання вимог Госту може привести до нещасних випадків.

Перед початком роботи кожен круг до установки на верстат має бути перевірений на відсутність тріщин, вибоїн і інших дефектів. Круг без тріщин, підвішений на дерев'яний або металевий стрижень, при легкому простукуванні по торцю дерев'яним молоточком повинен видавати чистий звук. Круг із звуком, що деренчить, бракується. Перед установкою на шліфувальний або заточний верстат круг має бути випробуваний на міцність на спеціальних верстатах з швидкістю в 1,3– 1,5 разу більше робочої швидкості протягом 3–5 *мін* залежності від діаметру круга.

Після закріплення у фланцях круг необхідно балансувати. Статичне балансування виробляється на спеціальних верстатах, простих по своїй конструкції. Вони мають два паралельних сталевих, загартованих, чисто і точно прошліфованих валика, посередині яких встановлюється круг на

облямовуванні. У фланцях є важки балансувань, які переміщаються в кільці пазу в потрібне положення до тих пір, поки круг з облямовуванням рівноважно не стоятиме на валиках стійко в будь-якому положенні.

Зазор між периферією круга і передньою кромкою запобіжного козирка або кожуха має бути не більше 6 мм. Форму і товщину стінок захисних кожухів для шліфувальних кругів залежно від їх розміру і робочої швидкості.

На робочому місці не повинно бути нічого зайвого. Грязь, пил, масло мають бути прибрані і на підлогу покладений дерев'яний настил. Необхідно надіти запобіжні окуляри; халат повинен мати вузькі манжети і бути застебнутий. Перед початком роботи перевірити справність верстата і місцевого освітлення.

При правці кругів дотримуються ті ж правила безпеки, що і при шліфуванні і заточуванні. Правлячий інструмент має бути жорстко закріплений на верстаті. Ручні правлячі інструменти повинні мати майданчики для опори їх на подручники і упор, що оберігає від викидання інструменту з рук під час правки. Правлячий інструмент слід підводити до поверхні круга дуже обережно, плавно.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

БІБЛІОГРАФІЯ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Технічний контроль стану дорожніх машин / Малишев В., Кущевська Н., Петренко Т, Докуніхін В. - Університет "Україна", 2022. 252 с
3. Підручник з будови автомобіля. Видання третє. Виправлене й доповнене – Моноліт 2021 – 288 с
4. Кисликов В.Ф., В.В. Лущик Будова і експлуатація автомобілів. Підручник - Либідь м.Київ, 2018 – 400с.
5. Кузьмінський Р.Д., Шарибура А.О Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів Львів 2017 – 376 с.
6. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
7. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
8. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
9. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
10. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
11. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.

12. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
13. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. — 400 с.
14. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. — К.: Либідь, 2016. — 400 с. 5. Ю.А.
15. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.
16. Войналович, О. В., Марчиниша, Є. І., Кофто, Д. Г. (2020). Охорона праці в галузі (автомобільний транспорт): навчальний посібник. Харків: ХНАДУ. 695 с.
17. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2024. 118 с.