

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Вибір матеріалу та способу відновлення хрестовини карданної
передачі електрофургону Ford E-Transit Custom»

Рівень вищої освіти другий магістерський

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група МТВАм-24-1


Підпис

Віталій Шевчук

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

Олександр РУДИК

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

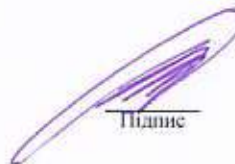
Олег МАКОВКІН

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

05.12.2015р.

Дата


Підпис

Олександр ДИХА

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шевчуку Віталію Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проєкту (роботи): Вибір матеріалу та способу відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom

керівник проєкту (роботи) Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25.08.2025 р. № 65 (Д 27)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваної деталі; нормативно-технологічна документація з технології відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom

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

1. Загальні відомості та основні технічні характеристики електрофургону Ford E-Transit Custom

2. Призначення, особливості конструкції, технічне обслуговування карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom

3 Конструкція та несправності хрестовини карданної передачі електрофургону та вибір її матеріалу

4 Аналіз і вибір методу відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону
5 Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану хрестовини карданного валу

6 Техніка безпеки при ремонті карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічну частину проєкту представити у вигляді презентації на слайдах (12-15) шт.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15 жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	30.09.2025	
2	Технологічний розділ	25.10. 2025	
3	Дослідницький розділ	15.11. 2025	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11. 2025	
5	Оформлення презентації проекту	1.12. 2025	
6	Нормоконтроль проекту	05.12. 2025	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	05.12. 2025	

Студент


Підпис

В.М. Шевчук
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)


Підпис

О.Ю. Рудик
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 100 сторінок, кількість рисунків – 37, таблиць – 23, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 36.

Студент гр. МТВАм-24-1 Сорока Ілля Григорович

Тема «Вибір матеріалу та способу відновлення розподільного валу хетчбека ЗАЗ-110247.40 Таврія».

Дана кваліфікаційна робота магістранта присвячена вибору матеріалу та способу відновлення розподільного валу хетчбека ЗАЗ-110247.40 Таврія





У кваліфікаційній роботі вирішувались наступні завдання:

- провести аналіз конструкції ГРМ хетчбека ЗАЗ-110247.40 Таврія та перевірити технічний стан його деталей;
- вибрати метод відновлення розподільного валу;
- дослідити процес плазмового напилення розподільного валу;
- розробити технологічні процеси відновлення та механічної обробки розподільного валу.

Перелік ключових слів: ЗАЗ-110247.40 ТАВРІЯ, ГРМ, РОЗПОДІЛЬНИЙ ВАЛ, ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА.

ЗМІСТ

Анотація	7
Abstract	8
Перелік скорочень.....	9
Вступ	11
1 Загальні відомості та основні технічні характеристики електрофургону Ford E-Transit Custom	12
2 Призначення, особливість конструкції, технічне обслуговування карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom	16
2.1 Загальні відомості та призначення карданної передачі	16
2.2 Особливість конструкції карданної передачі.....	17
2.3 Особливості функціонування карданної передачі.....	20
2.4 Аналіз працездатності та надійності карданної передачі	22
2.4.1 Основні причини несправностей і поломок карданної передачі.....	23
2.4.2 Технологія розбирання-складання карданного валу	25
2.5 Технічне обслуговування карданної передачі, головної передачі та диференціалу.....	26
2.5.1 Контрольна перевірка карданної передачі.....	29
2.5.2 Балансування карданного валу електрофургону.....	31
3 Конструкція та несправності хрестовини карданної передачі електрофургону та вибір її матеріалу	33
3.1 Конструкція хрестовини електрофургону.....	33

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шевчук			Вибір матеріалу та способу відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom	Літ.	Арк.	Акрюшів
Перевір.		Рудик					4	81
Н. Контр.		Маковкін			ХНУ гр.МТВАм-24-1			
Затверд.		Диха						

ЗМІСТ

Анотація	7
Abstract	8
Перелік скорочень.....	9
Вступ	11
1 Загальні відомості та основні технічні характеристики електрофургону Ford E-Transit Custom	12
2 Призначення, особливість конструкції, технічне обслуговування карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom.....	16
2.1 Загальні відомості та призначення карданної передачі	16
2.2 Особливість конструкції карданної передачі.....	17
2.3 Особливості функціонування карданної передачі.....	20
2.4 Аналіз працездатності та надійності карданної передачі	22
2.4.1 Основні причини несправностей і поломок карданної передачі.....	23
2.4.2 Технологія розбирання-складання карданного валу	25
2.5 Технічне обслуговування карданної передачі, головної передачі та диференціалу.....	26
2.5.1 Контрольна перевірка карданної передачі.....	29
2.5.2 Балансування карданного валу електрофургону.....	31
3 Конструкція та несправності хрестовини карданної передачі електрофургону та вибір її матеріалу	33
3.1 Конструкція хрестовини електрофургону.....	33

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Шевчук				Вибір матеріалу та способу відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Рудик						4	83
Н. Контр.	Маковкін				ХНУ гр.МТВАм-24-1			
Затверд.	Диха							

3.1.1	Перелік несправностей хрестовини електрофургону	34
3.1.2	Технологія заміни хрестовини карданного валу	34
3.2	Вибір матеріалу хрестовини	35
3.2.1	Хімічний склад сталі 20ХГНТР	36
3.2.2	Механічні властивості сталі 20ХГНТР	37
3.2.3	Технологічні властивості сталі 20ХГНТР	37

4 Аналіз і вибір методу відновлення хрестовини карданної передачі

	електрофургону	39
4.1	Огляд способів усунення дефектів хрестовини	39
4.2	Аналіз методів відновлення хрестовини	39
4.3	Вибір методу відновлення шийок хрестовини карданної передачі.....	43
4.4	Технологія відновлення хрестовини напівавтоматичним наплавленням у середовищі вуглекислого газу	45
4.4.1	Режим термічної обробки хрестовини після відновлення	47
4.5	Основні вимоги з охорони праці під час виконання напівавтоматичного наплавлення хрестовини	48
4.6	Технологічний процес відновлення хрестовини карданної передачі.....	49
4.7	Призначення обладнання, ріжучого інструменту та пристосувань для відновлення і термічної обробки хрестовини	51

5 Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану хрестовини карданного валу.....

5.1	Загальні відомості про комп'ютерне моделювання	53
5.2	Дослідження працездатності хрестовини після відновлення.....	59
5.2.1	Розрахунок навантаження, діючого на хрестовину	59
5.2.2	Визначення працездатності хрестовини	61
5.2.3	Додання в модель хрестовини кріплень.....	62
5.2.4	Прикладення навантажень до моделі хрестовини	62
5.2.5	Створення сітки моделі хрестовини й виконання розрахунку	63

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**6 Техніка безпеки при ремонті карданної передачі електрофургону Ford E-
Transit Custom 69**

Висновки 73

Список використаних джерел 75

Додатки 78

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анотація

Карданна передача електрофургону Ford E-Transit Custom забезпечує безперервну передачу крутного моменту від двигуна до ведучих коліс при зміні положення підвіски чи кута між агрегатами трансмісії. Її несправність або розбалансування призводить до підвищених вібрацій, шумів, нерівномірного обертання валів і передчасного зносу хрестовини, що викликає необхідність її відновлення або заміни. Тому здійснений вибір матеріалу та проведений огляд способів усунення дефектів хрестовини та аналіз методів її відновлення з розробкою технологічних процесів напівавтоматичного наплавлення порошковим дротом у вуглекислому газі з наступною термічною обробкою (гартування у маслі та низький відпуск на повітрі).

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The cardan drive of the Ford E-Transit Custom electric van provides continuous transmission of torque from the engine to the drive wheels when changing the suspension position or angle between the transmission units. Its malfunction or imbalance leads to increased vibrations, noise, uneven rotation of the shafts and premature wear of the crosspiece, which necessitates its restoration or replacement. Therefore, the material was selected and a review of methods for eliminating defects in the crosspiece and an analysis of methods for its restoration were carried out with the development of technological processes for semi-automatic flux-cored welding in carbon dioxide with subsequent heat treatment (oil quenching and low tempering in air).

					КВРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень

КП – карданна передача.

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.

ТЗ – транспортний засіб.

КПП – коробка перемикачів передач.

ТО – технічне обслуговування.

ЕО – експлуатаційне обслуговування.

ТО-1 – перше технічне обслуговування.

ТО-2 – друге технічне обслуговування.

С – вуглець.

Si – кремній.

Mn – марганець.

P – фосфор.

S – сірка.

Cr – хром.

Mo – молібден.

Ni – нікель.

V – ванадій.

Ti – титан.

Cu – мідь.

N – азот.

W – вольфрам.

B – бор.

Fe – залізо.

σ_B – межа короткочасної міцності, [МПа].

σ_T – межа пропорційності (межа текучості для постійної деформації), [МПа].

δ_5 – відносне подовження при розриві, [%].

ψ – відносне звуження, [%].

KCU – ударна в'язкість, [кДж/м²].

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

НВ – твердість за Брінеллем, [МПа].

ТБ – техніка безпеки.

CO₂ – вуглекислий газ.

O₂ – кисень.

N₂ – азот.

ФМВ – фізико-механічні властивості.

SW – SolidWorks.

SWS – SolidWorks Simulation.

МСЕ – метод скінченних елементів.

СЕ – скінченний елемент.

СЕС – скінченно-елементної сітки.

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Електрофургон Ford E-Transit Custom займає важливе та помітне місце в транспортній інфраструктурі України. Його простої, спричинені відмовами карданної передачі, найчастіше пов'язані зі зносом хрестовини, що робить необхідним її своєчасне відновлення або заміну для забезпечення надійної роботи автомобіля. У зв'язку з цим було здійснено обґрунтований вибір матеріалу хрестовини, а також розроблено детальний технологічний процес її відновлення методом напівавтоматичного наплавлення порошковим дротом у середовищі вуглекислого газу з подальшою термічною обробкою, яка включає гартування в маслі та низький відпуск на повітрі, що підвищує довговічність і працездатність відновленої деталі.

Новизна роботи. Розроблений технологічний процес напівавтоматичного наплавлення хрестовини карданної передачі порошковим дротом у вуглекислому газі при зворотній полярності з наступною її термічною обробкою у муфельній печі.

Достовірність отриманих результатів та обґрунтованість висновків і рекомендацій забезпечена застосуванням сучасних методів досліджень, достатнім об'ємом експериментально-розрахункової частини роботи, використанням комп'ютерної техніки для розв'язання задач.

Результати досліджень були представлені на:

– V Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Ресурсно-орієнтоване навчання в «3D»: доступність, діалог, динаміка», (м. Полтава, 20–21 лютого 2025 року). – Полтава: ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2025.

Можливість використання висновків і рекомендацій на практиці: застосувати запропоновану методику відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Загальні відомості та основні технічні характеристики електрофургону Ford E-Transit Custom

Ford Transit — це серія багатоцільових автомобілів, до якої входять фургони, мікроавтобуси та пікапи, які виготовляються компанією Ford Motor Company на виробничих потужностях у Туреччині для європейського ринку. Основним призначенням моделі є перевезення вантажів, однак автомобіль також випускається в різних конфігураціях — як пасажирський фургон великої місткості (під торговою назвою Ford Tourneo на деяких ринках із 1995 р.), шасі з кабіною для встановлення спеціального кузова або надбудови, а також пікап для комерційного використання [1-12].

На окремих ринках ця модель позначається як Ford T-Series (T-150, T-250, T-350), що об'єднує її з іншими легкими комерційними автомобілями Ford, такими як F-Series і E-Series, у спільну номенклатурну систему.

Станом на 2015 рік загальний обсяг продажів Ford Transit перевищив 8 000 000, що дозволило йому зайняти 3-є місце у світі серед найбільш продаваних фургонів усіх часів. Виробництво автомобіля здійснювалося на базі чотирьох поколінь платформ, які дебютували у 1965, 1986, 2000 та 2013 роках і в подальшому неодноразово модернізувалися, отримуючи покращення дизайну, технічних характеристик і рівня комфорту.

Протягом більш ніж чотирьох десятиліть Ford Transit залишається найпопулярнішим легким комерційним автомобілем у Європі, демонструючи високу надійність, універсальність і економічність у експлуатації (рис. 1.1). У деяких країнах назва «Transit» навіть стала узагальненим терміном, яким позначають будь-які легкові комерційні фургони цього класу, що свідчить про його значний вплив на розвиток сегмента [2].

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Електрофургон Ford E-Transit Custom

Сьоме покоління Ford Transit, представлене у травні 2014 р., стало черговим етапом розвитку моделі та позначило вихід компанії Ford на новий рівень у сегменті комерційних транспортних засобів. Якщо попередні версії Transit пропонувалися з переднім або заднім приводом, що дозволяло враховувати різні експлуатаційні умови та масові категорії, то нове покоління отримало розділення модельного ряду на дві окремі лінії.

Менші та легші модифікації з переднім приводом і вантажопідйомністю до 1 тони випускаються з вересня 2012 р. під назвами Ford Transit Custom і Ford Tourneo Custom. Ці моделі орієнтовані переважно на міські перевезення та пасажирські потреби малого бізнесу [3].

Важча версія Transit (Т2) представлена у 3-х варіантах довжини та 2-х або 3-х варіантах висоти кузова (за північноамериканською класифікацією) і може

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оснащуватись переднім, заднім або повним приводом. Допустима повна маса автомобіля варіюється у межах від 2,0 до 5,0 т., що дозволяє використовувати модель у широкому спектрі вантажних і спеціалізованих застосувань.

Модифікації з індексом Н2 мають збільшену на 100 мм висоту порівняно з попередниками та відповідають європейському варіанту L2. На ринку Північної Америки додатково пропонуються версії Н1 (L2 і L3), тоді як L4 доступна виключно у виконанні Н3, що на 150 мм вище попереднього покоління. Завдяки цьому максимальний об'єм вантажного відсіку перевищує 17 м³.

Підвищення вантажопідйомності та місткості було продиктоване тим, що сьоме покоління Transit є глобальною моделлю, яка замінила серію Ford E-Series у Північній Америці та реалізується під позначенням Ford Transit (North America) / T-Series.

Модель отримала низку сучасних систем активної безпеки та допоміжних функцій, серед яких — система Start-Stop, асистент утримання смуги руху, а також додаткові бічні та плечові подушки безпеки, які відповідають сучасним вимогам до комфорту та безпеки водія і пасажирів.

Виробництво європейських версій Transit T2 здійснюється на заводі Ford Otosan у місті Коджаелі (Туреччина). У лютому 2015 р. компанія Ford оголосила про відкриття нового виробничого центру у Валенсії (Іспанія), орієнтованого на задоволення зростаючих експортних потреб ринку [4].

Для північноамериканського ринку складання Transit ведеться на підприємстві в Клейкомо, штат Міссурі, де серійне виробництво стартувало 30 квітня 2014 р..

У 2019 р. модель Ford Transit зазнала суттєвої модернізації, що охопила як зовнішні, так і технічні зміни. Зокрема, було оновлено дизайн передньої панелі та приладової дошки, що надало салону сучаснішого вигляду та підвищило ергономіку. На заводах Otosan і Claycomo модернізації також зазнала трансмісія, що підвищило ефективність і надійність роботи автомобіля [5-8].

У листопаді 2020 року компанія Ford представила повністю електричну версію фургона — E-Transit 2022 модельного року. Серійне виробництво цієї

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модифікації розпочалося на заводі в Канзас-Сіті у листопаді 2021 р., а вже в лютому 2022 р. перші автомобілі були передані клієнтам у США. Виробництво європейської версії електрофургону стартувало на підприємстві Otosan у квітні 2022 р., що стало важливим кроком у переході Ford до електрифікації своїх комерційних транспортних засобів.

Основні технічні характеристики Ford E-Transit наведені у табл. 1.1 [9-12].

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики Ford E-Transit

Параметр	Значення	Примітка
Тип двигуна	Електричний, задній привід	Забезпечує плавний розгін
Крутний момент	209 Н·м	Гарантує хорошу тягу при повному навантаженні
Ємність тягової батареї	68 кВт год. (деякі версії – 67 кВт год.)	Впливає на запас ходу та тривалість заряджання
Запас ходу	До 317 км (до 349 км для ранніх моделей)	За циклом WLTP, залежить від умов експлуатації
Корисне навантаження	До 1724 кг (фургон) / до 1946 кг (шасі з кабіною)	Високий показник серед електричних фургонів
Швидка зарядка постійним струмом (DC)	Від 10% до 80% за 34–37 хв. при 115 кВт	Для швидкого поповнення заряду на маршруті
Зарядка від мережі змінного струму (AC)	11,3 кВт	Використовується для нічного заряджання
Pro Power Onboard	Розетка 2,4 кВт	Дозволяє жити зовнішнє обладнання (інструменти, освітлення)
Виробництво	Otosan (Туреччина) та Kansas City (США)	Європейське та північноамериканське складання

2 Призначення, особливість конструкції, технічне обслуговування карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom

2.1 Загальні відомості та призначення карданної передачі

Вали з вузлами нерівних кутових швидкостей, які отримали назву «карданна передача» (або скорочено — «кардан»), є одним із ключових елементів трансмісії автомобіля. Вони застосовуються переважно на транспортних засобах із заднім або повним приводом, де необхідно забезпечити стабільну передачу крутного моменту від силового агрегату до ведучих коліс за умов змінного просторового положення вузлів трансмісії [13].

КП виконує важливу функцію в роботі автомобіля — забезпечує безперервну передачу крутного моменту від ДВЗ до ведучих коліс при зміні положення підвіски чи кута між агрегатами трансмісії. Її справна робота має вирішальне значення для ефективності руху ТЗ, зменшення втрат енергії та підвищення надійності всієї трансмісійної системи. Несправність або розбалансування КП може призвести до підвищених вібрацій, шумів, нерівномірного обертання валів і передчасного зносу підшипників або редуктора [14].

З конструктивної точки зору, КП є механічною системою, призначеною для передачі обертального моменту між валами, осі яких перетинаються або розміщені під певним кутом. Основними складовими елементами КП є карданні вали, хрестовини, шліцьові з'єднання та опорні підшипники. Кожен із цих компонентів виконує специфічну функцію [15, 16]:

- хрестовини забезпечують компенсацію кутових відхилень;
- шліцьові з'єднання — зміну довжини валу при роботі підвіски;
- опорні підшипники — стабілізацію та підтримку обертання валу.

Принцип роботи КП ґрунтується на передачі крутного моменту через систему взаємопов'язаних валів і хрестовин, які забезпечують гнучкий зв'язок між КПП і головною передачею або міжосьовим редуктором. У процесі руху ТЗ усі елементи КП обертаються з високою швидкістю, передаючи енергію від ДВЗ

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до коліс із мінімальними втратами. Це дозволяє підтримувати стабільну роботу трансмісії навіть за динамічних навантажень та нерівностей дорожнього покриття.

Отже, КП є невід’ємним елементом сучасних автомобільних трансмісій, яка забезпечує узгоджену роботу силового агрегату та ходової частини, сприяючи ефективному, плавному й надійному руху ТЗ.

Низка основних ключових функцій, які забезпечують ефективну роботу трансмісійної системи та стабільність руху автомобіля, наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Функції КП ТЗ

Функція	Суть	Значення для автомобіля
Передача крутного моменту	Забезпечує передачу обертального моменту від ДВЗ до ведучих коліс через елементи трансмісії, навіть за наявності кутових зміщень між агрегатами	Дозволяє реалізувати рух автомобіля, забезпечує стабільну подачу потужності до коліс без втрат енергії
Компенсація кутових та осьових зміщень	Згладжує різницю у кутах між валунами КПП і головної передачі, а також компенсує осьові переміщення під час роботи підвіски	Підтримує безперервність і плавність роботи трансмісії, запобігає ривкам та передчасному зносу деталей
Підтримання стабільності руху	Забезпечує рівномірне обертання валів і зменшує вібрації та ударні навантаження у системі трансмісії	Підвищує стійкість, плавність руху та комфорт під час експлуатації ТЗ
Забезпечення гнучкості трансмісії	Дозволяє здійснювати гнучке з’єднання між агрегатами трансмісії, які працюють під різними кутами та за змінних умов навантаження	Гарантує ефективну роботу трансмісії в різних умовах експлуатації, сприяє надійності та довговічності вузлів

2.2 Особливість конструкції карданної передачі

Особливістю конструкції будь-якого ТЗ є те, що його основні робочі вузли та агрегати, які забезпечують рух автомобіля, мають роздільне просторове розташування. Це означає, що ДВЗ, КПП, головна передача та ведучі колеса знаходяться у різних частинах ТЗ. Саме тому передача крутного моменту від силової установки до ведучих коліс здійснюється за допомогою системи приводних валів, які є невід’ємною складовою трансмісії [13-16].

Кількість, довжина, конструкція та спосіб кріплення цих валів безпосередньо залежать від типу приводу, компоновання ТЗ та його призначення. Привідні вали виконують не лише функцію передачі обертального руху, але й компенсують геометричні зміщення між агрегатами, які з'єднані між собою. Через конструктивні особливості неможливо забезпечити співвісність усіх елементів приводу, тому вали повинні компенсувати кутові відхилення та зміну відстаней між ними (рис. 2.1 і Б1)



Рисунок 2.1 – Карданний вал Ford E-Transit Custom [14]

Це завдання виконується завдяки карданному шарніру, який входить до складу валу. Саме цей елемент дозволяє передавати обертання між частинами валу, розташованими під певним кутом одна до одної, забезпечуючи плавну та стабільну роботу трансмісії навіть при зміні положення агрегатів під час руху автомобіля.

Призначення базових конструктивних елементів ТЗ наведені у табл. 2.2 [13-16].

Таблиця 2.2 – Призначення базових агрегатів ТЗ

Конструктивний елемент	Призначення	Значення для ТЗ
Силова установка (ДВЗ)	Створення крутного моменту, який є джерелом енергії для руху ТЗ	Забезпечує необхідну потужність для пересування ТЗ та виконання тягових робіт
Привідні вали	Передають крутний момент від ДВЗ до ведучих коліс	Є основним з'єднувальним елементом між силовою установкою та трансмісією; визначають ефективність передачі енергії

Конструктивний елемент	Призначення	Значення для ТЗ
Карданні шарніри	Компенсують кутові та осьові зміщення між з'єднаними агрегатами трансмісії	Забезпечують плавність роботи приводу, зменшують вібрації та підвищують надійність роботи трансмісії
КПП	Регулює частоту обертання та крутний момент, який передається на привідні вали	Дає змогу адаптувати роботу ДВЗ до умов руху, покращуючи економічність і динаміку ТЗ
Головна передача	Передає обертання від карданного валу до півосей ведучих коліс	Забезпечує необхідне передавальне число для руху ТЗ з потрібною швидкістю та тяговими характеристиками
Система кріплення вузлів трансмісії	Забезпечує надійне з'єднання складових елементів у єдину конструкцію	Гарантує стабільність і довговічність роботи трансмісії навіть при високих навантаженнях

Карданний шарнір є найважливішою частиною валу. В цілому, будова КП включає конструктивні елементи, наведені на рис. 2.2 і табл. 2.3.



Рисунок 2.2 – Загальна будова карданного валу Ford E-Transit Custom:

1 і 9 – фланець-вилка карданного шарніра; 2 і 8 – хрестовина; 3 – вилка ковзаюча; 4 – обойма сальника ковзаючої муфти; 5 – ковзаюча муфта; 6 – вісь карданного валу; 7 – вилка

Таблиця 2.3 – Основні конструктивні елементи КП [13-16]

Конструктивний елемент	Опис / Суть	Значення для роботи КП
Карданний шарнір	Основна та найважливіша частина карданного валу, яка забезпечує передачу обертального моменту між валами, розташованими під кутом	Компенсує кутові зміщення між валами, забезпечуючи безперервну передачу крутного моменту без втрати потужності
Вал і вісь вузла	Основні елементи, які передають обертання та з'єднують між собою частини трансмісії	Забезпечують механічний зв'язок між агрегатами ТЗ, формуючи єдину лінію передачі обертання
Дві вилки	Розташовані на кінцях валу й осі під кутом 90°. Одна вилка встановлена на валу, інша – на осі, яка приймає або передає обертання	Забезпечують можливість обертання і взаємного з'єднання через хрестовину; передають крутний момент між компонентами
Хрестовина	З'єднує дві вилки, передаючи обертальний рух через підшипники	Забезпечує рівномірну передачу моменту при зміні кутів між валунами, мінімізуючи втрати енергії та вібрації
Підшипники (голчасті)	Встановлені у вушках вилок, дозволяють хрестовині обертатися з мінімальним тертям	Підвищують довговічність вузла, забезпечують плавність і безшумність роботи карданного з'єднання
Сальники	Герметизують вузол і захищають його від потрапляння пилу, вологи та бруду	Зберігають мастило всередині шарніра, запобігаючи передчасному зносу елементів
Фіксуючі елементи	Утримують підшипники та хрестовину у вишках, запобігаючи їх роз'єднанню	Гарантують надійність з'єднання та безпечну роботу шарніра під час експлуатації
Порожнистий карданний вал	Виконаний у вигляді труби, з'єднаної звилкою через шліцьове з'єднання	Дозволяє змінювати довжину приводу при роботі підвіски, компенсуючи зміну відстані між агрегатами
Шліцьове з'єднання	Забезпечує осьове переміщення валу відносно вилки при зміні положення підвіски	Підтримує постійну передачу обертання навіть при зміні довжини карданного валу під час руху ТЗ

2.3 Особливості функціонування карданної передачі

КП у більшості сучасних ТЗ є конструкцією, яка не потребує регулярного обслуговування протягом усього строку експлуатації. Це стало можливим завдяки

тому, що на етапі виготовлення в підшипники закладається спеціальне мастило, яке забезпечує зниження тертя між рухомими елементами. Витіканню мастила запобігають встановлені ущільнювальні сальники, які зберігають герметичність вузла навіть при тривалих навантаженнях і зміні температур [13-16].

Основною особливістю, що водночас є і недоліком карданного шарніра, виступає неоднорідна циклічна передача обертання. Через наявність кута між валами відбувається періодичне випередження або відставання веденої частини від ведучої, що створює додаткові вібрації. Щоб частково компенсувати нерівномірність обертання, у складі КП часто застосовують два або більше шарнірів, які працюють одночасно, забезпечуючи узгоджену передачу крутного моменту. Залежність експлуатаційних параметрів КП від особливості її будови наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Залежність експлуатаційних параметрів КП від особливості її будови [13-16]

Параметр / Особливість	Суть / Опис	Значення для роботи КП
Карданна передача (загальна характеристика)	Використовується завдяки високій надійності, простоті конструкції та стійкості до складних умов експлуатації	Може працювати у відкритому вигляді без захисних кожухів, зберігаючи ефективність навіть у запиленних або вологих середовищах
Тривалість служби карданної передачі	Може функціонувати тривалий час без ТО, оскільки конструкція захищена сальниками та має закладене мастило	Знижує експлуатаційні витрати, підвищує надійність трансмісії та зручність обслуговування
Тип обслуговування КП	Більшість КП є необслуговуваними, оскільки мастило вноситься на заводі й утримується завдяки сальникам	Забезпечує тривалий термін служби без необхідності регулярного ТО
Обслуговувані шарніри	Оснащені прес-маслянкою та каналами для поповнення мастила під час ТО	Дозволяють подовжити ресурс роботи шарніра при інтенсивній експлуатації
Основна причина виходу з ладу шарніра	Попадання забруднень у підшипники через пошкоджені сальники, що спричиняє знос голчастих тіл кочення	Призводить до поступового підвищення вібрацій, шуму та, зрештою, до необхідності заміни шарніра

Параметр / Особливість	Суть / Опис	Значення для роботи КП
Карданна передача (загальна характеристика)	Використовується завдяки високій надійності, простоті конструкції та стійкості до складних умов експлуатації	Може працювати у відкритому вигляді без захисних кожухів, зберігаючи ефективність навіть у запилених або вологих середовищах
Тривалість служби карданної передачі	Може функціонувати тривалий час без ТО, оскільки конструкція захищена сальниками та має закладене мастило	Знижує експлуатаційні витрати, підвищує надійність трансмісії та зручність обслуговування
Ремонтопридатність шарніра	Карданний шарнір не підлягає ремонту, у випадку значного зносу його повністю замінюють	Забезпечує простоту технічного обслуговування, але потребує своєчасної заміни вузла при поломці
Недолік шарніра нерівних кутових швидкостей	Через кут між валами передача обертання є циклічно нерівномірною — ведена частина періодично обганяє або відстає від ведучої	Викликає вібрації та підвищене навантаження на елементи трансмісії, тому такі шарніри не застосовуються у передньопривідних ТЗ

2.4 Аналіз працездатності та надійності карданної передачі

Аналіз працездатності та надійності КП передбачає комплексну оцінку її конструктивних характеристик, умов експлуатації та механічних дефектів, які можуть виникати протягом тривалого використання. Оцінка проводиться за показниками вібрацій, шуму, зносу хрестовин і шліцьових з'єднань, а також загального ресурсу роботи вузлів трансмісії.

Працездатність визначається здатністю передачі крутного моменту від ДВЗ до коліс без надмірних вібрацій і шуму, а також без критичного зносу компонентів. Основні методи аналізу працездатності КП наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні методи аналізу працездатності КП

Метод	Об'єкт контролю	Критерій оцінки	Примітка
Візуальний огляд	Карданні вали, проміжні опори, ущільнення	Відсутність тріщин, деформацій, протікань	Перевірка перед виїздом і під час ТО
Акустична діагностика	Шарніри, підшипники, шліцьові з'єднання	Підвищений шум або стук	Виконується при русі накатом або під навантаженням

Метод	Об'єкт контролю	Критерій оцінки	Примітка
Вібраційний контроль	Карданні вали, кріплення	Відчуття вібрацій на кузові	Вказує на дисбаланс або нерівномірний знос

Надійність характеризує здатність вузлів зберігати працездатність протягом визначеного ресурсу або терміну експлуатації. Основні фактори оцінки надійності КП наведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні фактори оцінки надійності КП

Показник	Об'єкт	Ознаки дефекту	Наслідки	Метод контролю
Знос хрестовин	Шарніри карданних валів	Стук, підвищена люфт	Зниження надійності, ризик поломки	Візуальний огляд, прослуховування
Знос підшипників	Проміжні опори	Шум, нагрів	Зниження терміну служби валу	Акустична діагностика, контроль температури
Спрацювання шліцьових з'єднань	Шліцьові вали	Поштовхи, ривки при старті	Ривок крутного моменту, критичний знос	Вібраційний контроль, контроль люфту
Ресурс вузлів	Всі компоненти	Знос поверхонь, корозія	Зменшення загальної надійності	Аналіз експлуатаційних умов, ТО

Таким чином, комплексний науково-технічний аналіз працездатності та надійності КП дозволяє:

- виявляти потенційні дефекти на ранніх стадіях;
- прогнозувати ресурс роботи вузлів трансмісії;
- планувати регламентне ТО;
- забезпечувати безпечну, плавну і довговічну експлуатацію ТЗ.

2.4.1 Основні причини несправностей і поломок карданної передачі

КП є критично важливим вузлом трансмісії. Її працездатність значною мірою визначається станом шарнірів, підшипників, шліцьових з'єднань та кріплень. Основними причинами поломок та несправностей є спрацювання:

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– підшипників (призводить до посиленого стуку, підвищеного тертя та можливого перегріву опорних вузлів);

– шліцьового з'єднання (виникає при надмірному люфті або зносі контактних поверхонь, що проявляється у вигляді поштовхів при початковому розгоні або зміні навантаження);

– підшипників на опорах валу (збільшує люфт і дисбаланс валу, що спричиняє вібрації та шум).

– фланцевого з'єднання (виникає через ослаблення кріплень або деформацію фланців, що призводить до підвищеного шуму та вібрацій).

Вплив умов експлуатації на ресурс КП виражаються через динамічні режими роботи ТЗ: швидкі старты, часті смикання та перевантаження значно знижують ресурс вузлів КП. Особливо страждають хрестовини; підшипники на опорах; шліцьові з'єднання; вилки та сам вал; кріплення карданного валу на фланцях.

Підвищення температури у шарнірних з'єднаннях є ознакою недостатнього змащування або спрацювання вузлів. Надмірне тертя зменшує ресурс деталей та прискорює їхній вихід з ладу.

Найпоширенішими причинами виникнення шуму та вібрацій є:

1. Збільшений зазор у валу (призводить до спрацювання шліцьового та вилочно-хрестовинного з'єднань).

2. Невірне балансування валу (додаткові вібрації та шум виникають при русі; балансування потрібно проводити на спеціальному обладнанні з високою точністю, що мінімізує шум та знос деталей).

3. Помилки при монтажі (неправильне складання або кріплення КП до ТЗ призводить до нерівномірного навантаження на вузли та швидкого виходу їх з ладу).

Для ефективного виявлення несправностей КП необхідно точно визначати походження шумів, оскільки стуки можуть виникати не лише від карданного валу, а й від інших вузлів.

Характерні ознаки несправностей КП наведені у табл. 2.7.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Характерні ознаки несправностей КП

Джерело шуму/вібрацій	Характерні ознаки
Карданна передача	Поштовхи при старті, стуки під час зміни навантаження, вібрації кузова
ДВЗ або його кріплення	Вібрації при високих обертах, нерівномірний шум
КПП	Стуки при перемиканні передач, шум від синхронізаторів
Зчеплення	Стук або скрегіт при натисканні педалі зчеплення, ривки при старті
Ходова частина	Ударні шуми при їзді по нерівностях, люфт у підшипниках або шарнірах підвіски
Привідні вали	Вібрації при високій швидкості, нерівномірна робота карданів
Вихлопна система	Коливання труб або кріплень, дзвінкі шуми при русі
Шини	Характерний гул на нерівному покритті

2.4.2 Технологія розбирання-складання карданного валу

Розбирання та подальше складання карданного валу слід виконувати лише на спеціалізованому стенді, суворо дотримуючись установленної технології й усіх технічних вимог. Під час виконання цих робіт необхідно приділити підвищену увагу процесу зняття та встановлення стопорних кілець, які забезпечують фіксацію осевого переміщення підшипника. Ці елементи потрібно обов'язково утримувати під час монтажу чи демонтажу, оскільки через їхню пружність і напружений стан можливе раптове вискакування, що може призвести до пошкоджень або ускладнення подальшого ремонту.

Технологічна карта розбирання-складання карданного валу наведені у табл. 2.8. Місце виконання – стенд для розбирання-складання карданних валів. Виконавець - слюсар-авторемонтник 4 розряду.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Технологічна карта розбирання-складання карданного валу

№ операції	Найменування операції та зміст переходу	Устаткування, пристосування, інструмент	Норма часу, хв.
1	Розбирання карданного валу	Оправка. Кільце. Лещата слюсарні.	1,25
	1. Зняти стопорні кільця підшипників		
	2. Випресувати підшипник і зняти його з хрестовини		2,40
	3. Вийняти з вилки фланець з хрестовиною		0,70
2	Складання карданного валу	Оправка. Кільце. Лещата слюсарні. Молоток слюсарний масою 0,50 кг	0,60
	1. Вставити діаметрально розташовану пару шпильок хрестовини в отвори вух однієї з вилок шарніра		
	2. Вставити підшипники в отвори вилки, частково надівши їх на шпильки		0,85
	3. Плавню стискувати підшипники до упору		1,40
	4. Ударом молотка вставити стопорне кільце в канавку підшипника		1,40
	5. Поставити кільце-оправки на зовнішній торець вушка із застопореним підшипником і допресувати хрестовину з підшипниками до упору стопорного кільця в підшипник і вилку		1,40
	6. Вставити друге стопорне кільце		0,40

2.5 Технічне обслуговування карданної передачі, головної передачі та диференціалу

Для якісного та безпечного проведення ТО КП необхідно виконати низку послідовних операцій, спрямованих на підтримання її справного стану та продовження ресурсу роботи.

Очищення деталей. Насамперед проводиться ретельне очищення елементів КП від зовнішніх забруднень, пилу, залишків мастила та бруду. Це дозволяє

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

уникнути потрапляння сторонніх частинок у підшипники або шліцьові з'єднання під час подальшої перевірки чи змащування.

Перевірка та підтягування кріплень. Після очищення слід уважно оглянути стан усіх болтових з'єднань. При виявленні ослаблених кріплень їх потрібно підтягнути, а пошкоджені або зношені деталі — замінити новими. Особливу увагу приділяють фланцевим з'єднанням і кріпленню хрестовини, адже саме вони сприймають основні крутні навантаження.

Контроль шліцьових з'єднань і вилок. Необхідно перевірити стан шліцьової частини валу, вилок і посадочних місць під підшипники. Під час провертання карданного валу слід звертати увагу на наявність люфтів чи зазорів, які свідчать про зношування або ослаблення з'єднань.

Оцінка технічного стану деталей. Якщо виявлені несправності, потрібно визначити можливість ремонту або необхідність заміни деталей. Як правило, хрестовина з підшипниками не ремонтується і підлягає заміні. Важливо пам'ятати, що вчасна заміна зношених елементів запобігає появі вібрацій, шумів і пошкодженню суміжних вузлів.

Змащування елементів. Своєчасне та якісне змащування відіграє важливу роль у забезпеченні довговічності КП. При змащуванні хрестовини кількість мастила повинна бути достатньою для повного заповнення підшипників. Подавати його потрібно повільно та безперервно, щоб мастило рівномірно розподілилося по всій системі мастильних каналів. Це значно зменшує шум і забезпечує стабільність роботи всієї передачі.

Перевірка прямолінійності валу. Карданний вал не повинен мати жодних відхилень від осевої лінії, деформацій, загинів або тріщин. Навіть незначне

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викривлення може призвести до дисбалансу, вібрацій і передчасного зносу підшипників.

Контроль технічного стану на стенді. Для точнішої перевірки працездатності КП ТЗ встановлюють на стенд із можливістю підвішування задніх коліс. На нейтральній передачі обертають колесо і проводять вимірювання за допомогою індикатора, який фіксує середнє відхилення биття валу. Для легкових автомобілів допустиме відхилення становить до 0,50 мм.

Виявлення люфтів у з'єднаннях. Знос у місцях з'єднання вилок або шліцьових з'єднань визначається шляхом розхитування деталей вручну. Наявність навіть невеликого люфту або характерного стуку є ознакою спрацювання і потребує подальшої діагностики чи ремонту.

Таким чином, своєчасне проведення ТО КП дозволяє запобігти виникненню сторонніх звуків, вібрацій та поломок, а також гарантує стабільну передачу крутного моменту від КПП до ведучих коліс.

ТО трансмісійних вузлів ТЗ також забезпечує збереження їх працездатності та надійності під час експлуатації. Основні операції включають контроль стану кріплень, підшипників, шліцьових з'єднань та мастила.

Основні операції при ТО КП наведені у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Основні операції при ТО КП

Операція	Об'єкт контролю	Методика виконання
Перевірка затяжки болтів кріплення	Фланці карданного валу, опори валу	Контроль моменту затяжки згідно регламенту
Перевірка посадки хрестовин	Хрестовини у підшипниках	Візуальний огляд, перевірка люфту
Перевірка підшипників	Підшипники у вилках	Візуальний огляд, контроль люфту та нагріву
Змащення шарнірів	Карданні шарніри	Через маслянки згідно графіку ТО
Змащення шліцьових з'єднань	Шліцьові муфти	Через маслянки або застосування спеціального мастила
Змащення підшипників	Підшипники опор	Через маслянки, контроль за рівнем мастила

Основні операції ТО головної передачі та диференціалу наведені у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Основні операції ТО головної передачі та диференціалу

Операція	Об'єкт контролю	Методика виконання
Перевірка кріплення картера	Картер головної передачі	Контроль моменту затяжки болтів
Підтримання рівня мастила	Картер головної передачі та диференціала	Перевірка по контрольному щупу, доливання до норми
Усунення течі мастила	Сальники, ущільнення	Візуальний контроль та заміна ущільнювачів
Перевірка та регулювання підшипників	Підшипники передач	Контроль люфту та при необхідності регулювання

Перевірка роботи карданної та головної передач при різних типах ТО наведені у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Перевірка роботи карданної та головної передач при різних типах ТО

Тип ТО	Операції
ЕО	Перевірка роботи карданної та головної передач під час руху ТЗ, оцінка шуму та вібрацій
ТО-1	Перевірка кріплення фланців карданного валу та півосей; закріплення кришок картерів; перевірка рівня мастила в картері заднього мосту; змащення карданів і підшипників опори через маслянки
ТО-2	Виконує всі роботи ТО-1; додатково перевіряють величину люфту в шарнірах карданного валу; перевірка кріплення підшипника опори до рами; заміна мастила в картері заднього мосту за графіком; змащення шліцьової муфти КП

2.5.1 Контрольна перевірка карданної передачі

Основні вимоги контролю кріплень та посадки підшипників наведені у табл. 2.12.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Основні вимоги контролю кріплень та посадки підшипників

Елемент	Контроль	Методика
Болти кріплення фланців та опор	Затягування до відмови	Виконувати динамометричним ключем, перевіряючи момент затяжки згідно регламенту
Посадка хрестовин в підшипниках	Відсутність люфтів, щільна посадка	Візуальний контроль, перевірка обертання під навантаженням
Підшипники у вилках	Відсутність люфтів, плавне обертання	Візуальна перевірка та контроль за нагрівом під час обертання

Примітка: при наявності великого радіального або торцевого зазору зібраний карданний вал підлягає заміні.

Довговічність КП забезпечується дотриманням графіку змащення та використанням тільки рекомендованих сортів мастила (див. табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Графік змащення КП

Компонент	Тип мастила	Метод нанесення
Хрестовини карданних валів	Консистентне мастило Літол 24 або солідол	Через клапан хрестовини шприцом; подавати мастило рівномірними повільними натисканнями шприца для видалення повітря з каналів
Шліцьові з'єднання карданного валу	Солідол	Наносити вручну, рівномірно покриваючи поверхні шліців
Підшипник проміжної опори в гумовій обоймі	Солідол або рекомендоване мастило	Через прес-маслянку, розташовану в нижній частині задньої обойми сальника
Підшипники відкритих проміжних опор	Універсальне тугоплавке водостійке мастило Divinol Mehrzweckfett 2	Наносити вручну або шприцом, забезпечуючи повне заповнення порожнини підшипника

Техніка подачі мастила наступна:

1. Подавати мастило повільними та рівномірними натисканнями шприца.
2. Забезпечити вихід повітря з усіх каналів для рівномірного змащення підшипників.

3. Після змащення перевіряти плавність обертання хрестовин та підшипників.

2.5.2 Балансування карданного валу електрофургону

Будь-який ремонт карданної передачі обов'язково завершують операцією балансування, оскільки саме вона забезпечує подальшу стабільну та безпечну роботу вузла. Наявність спеціалізованого обладнання для виконання таких процедур фактично визначає рівень підприємства, його професійну репутацію та якість кінцевого результату. Балансування проводиться на карданній передачі, зібраній у повному комплекті. Для цього в технологічному оснащенні використовується набір універсальних адаптерів, що дозволяє максимально точно відтворити умови кріплення карданного валу в електрофургоні та імітувати реальні експлуатаційні навантаження. Окремо варто згадати ще одну важливу та унікальну послугу — вібраційну діагностику елементів трансмісії безпосередньо на автомобілі, що дає змогу оперативно виявляти приховані несправності й підвищувати точність подальшого ремонту.

Однією з ключових причин зниження ресурсу роботи автомобільних агрегатів є вібрації, які виникають через дисбаланс обертових компонентів — таких як колінчастий вал, маховик, корзина зчеплення, карданні вали та інші подібні деталі. Наслідки таких вібрацій добре відомі кожному автолюбителю: прискорений знос елементів механізмів, зниження комфорту під час їзди, погіршення динаміки розгону, підвищення витрати пального та багато інших небажаних ефектів.

Під час виконання статичного балансування інколи можна обмежитися використанням простих ножів-призм, особливо якщо є достатньо часу, терпіння та якщо допустимі поля залишкового дисбалансу доволі широкі. Проте, коли мова йде про якісне, точно контрольоване та професійне балансування, існує лише один по-справжньому надійний варіант — застосування спеціалізованого високоточного станка. Саме він забезпечує стабільний результат, мінімізує ризики

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

похибок і дозволяє отримати оптимальні параметри для подальшої безпечної експлуатації вузла.

Після того як усі зазори в з'єднаннях карданного валу зведено до міні допустимих величин, проводять його балансування на спеціалізованому балансувальному верстаті – верстат для балансування карданних валів моделі 97BK1000. Основне призначення такого обладнання полягає у точному вимірюванні дисбалансу валу та подальшій корекції розподілу мас, щоб зменшити початковий дисбаланс до нормативного, безпечного для експлуатації рівня. Завдяки цьому забезпечується плавна робота трансмісії, підвищується надійність вузла та значно знижується ризик виникнення додаткових вібрацій у процесі руху.

Допустимий дисбаланс карданної передачі (або окремого валу) на кожній опорі не повинен перевищувати значення, яке дорівнює добутку маси валу, яка припадає на цю опору, та встановленого нормативного питомого дисбалансу для відповідних робочих частот обертання в трансмісії. Перед тим як встановлювати вже відбалансовані вали у склад трансмісії, доцільно виконати додаткову перевірку радіального й торцевого биття на посадкових поверхнях фланців агрегатів. Такий контроль допомагає запобігти появі небажаних вібрацій, підвищує точність монтажу та гарантує більш тривалу і стабільну роботу всієї системи.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Конструкція та несправності хрестовини карданної передачі електрофургону та вибір її матеріалу

3.1 Конструкція хрестовини електрофургону

Хрестовиною називають механічний елемент, який є пристроєм, що складається з 2-х взаємно перехрещених осей. У системі карданної передачі ТЗ ця деталь вважається однією з найуразливіших, адже саме на неї припадає основна частина робочого навантаження під час руху. Додаткову складність становить те, що конструкція містить дрібні й чутливі компоненти, які ускладнюють процес обслуговування та ремонту, потребуючи точності й обережності.

Основна частина вузла має характерну форму хреста з циліндричними кінцями, які забезпечують правильну геометрію та стабільність функціонування механізму. На ефективність роботи значний вплив мають елементи, які монтуються по краях хрестовини: це металеві «скляночки» з роликівими підшипниками уздовж периферії, які забезпечують плавність обертання та зменшують тертя. Усі складові виготовляють з високоміцної легованої сталі, яка підвищує не лише їхню надійність і зносостійкість, а й загальну довговічність усього карданного вузла.

Креслення хрестовини карданної передачі електрофургону наведене на рис. Б2.

Карданний вал у конструкції електрофургону складається з 2-х окремих секцій. Перша частина з'єднується з валом КПП через пружну муфту, яка компенсує вібрації та невеликі зміщення. 2-а секція приєднується до фланця, розташованого на вхідному валу редуктора заднього моста. Здавалося б, з'єднання мало б бути простим, якби фланець КПП і вихідний вал були розташовані на одній прямій лінії. Проте на практиці фланець встановлений нижче, що робить конструкцію значно складнішою.

Під час руху електрофургону КПП зміщується вгору й униз, реагуючи на роботу підвіски та зміну навантажень. Через це застосування суцільного

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

карданного валу є неможливим, тому система поділена на дві частини. Спершу передній кардан монтують максимально горизонтально, після чого встановлюється хрестовина, що дозволяє створити плавний вигин конструкції донизу. На кінці 2-ї секції розміщується ще одна хрестовина, яка забезпечує рухоме й надійне з'єднання з фланцем головного передавального валу. Така компоновка гарантує гнучкість, компенсує відхилення та забезпечує стабільну передачу крутного моменту.

3.1.1 Перелік несправностей хрестовини електрофургону

Найпоширеніша несправність пов'язана з висиханням або нестачею мастила всередині вузла. Коли мастило втрачає свої властивості чи повністю зникає, з'являється характерна ознака — підвищена вібрація під час руху електрофургону.

Заклинювання хрестовини та порушення точної геометрії посадочного місця. Такі проблеми виникають через зношення елементів, потрапляння бруду або тривалу роботу без належного обслуговування.

Руйнування посадочних гнізд. Це відбувається, коли водій ігнорує перші симптоми несправності та продовжує експлуатувати ТЗ, що призводить до прогресування зносу й подальшого серйозного пошкодження вузла.

3.1.2 Технологія заміни хрестовини карданного валу

Перед початком процесу заміни хрестовини карданного валу електрофургон необхідно надійно встановити на оглядову яму або підняти над робочою поверхнею за допомогою підйомника, щоб забезпечити зручний і безпечний доступ до всіх елементів вузла. Процедура заміни хрестовини універсального шарніра, як правило, не займає багато часу, але вимагає уважності та послідовного виконання кожного етапу. Робота проводиться у такому порядку:

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою гайкового ключа на 13 відкручується гайка, що фіксує фланець. Далі виконується прикручування зовнішнього краю з'єднання до кронштейна, розташованого на корпусі електрофургону, щоб уникнути зайвого зміщення деталей. Після цього знімається гребний вал з наконечників. Під час цього етапу допускається застосування більш різких ударів молотком по фланцю для полегшення демонтажу, але робити це потрібно з обережністю.

За допомогою спеціального знімача акуратно демонтуються хлисти та інші елементи, що утримують стару хрестовину. На завершальному етапі встановлюється нова хрестовина, після чого здійснюється зворотне складання вузла з перевіркою правильності посадки всіх деталей і надійності кріплень.

3.2 Вибір матеріалу хрестовини

Хрестовина карданного валу виготовляється переважно з легованої сталі. Цей матеріал забезпечує необхідну міцність і довговічність, а поверхня хрестовини проходить додаткову обробку, таку як шліфування, для покращення її характеристик [17-19].

Для виготовлення хрестовини карданної передачі приймаємо хромомарганцевонікелеву сталь 20ХГНТР [18, 19].

Зарубіжні аналоги сталі 12ХНЗА наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Зарубіжні аналоги марки сталі 20ХГНТР

Країна	Марка сталі
США	4320
Німеччина	25CrMo4
Японія	SCM420

Завдяки своїм експлуатаційним характеристикам сталь 20ХГНТР застосовується для виготовлення деталей, які повинні витримувати значні

навантаження, передавати великі крутні моменти та працювати в умовах інтенсивного зношування. Її використовують для високонавантажених елементів у машинобудуванні, де необхідні підвищена поверхнева твердість і міцна, стійка до деформацій серцевина. Прикладом таких деталей є хрестовини карданних валів автомобілів [17–20].

3.2.1 Хімічний склад сталі 20ХГНТР

Сталь 20ХГНТР — конструкційна легована сталь, яка широко використовується для виробництва високонавантажених деталей, що працюють на зношування, зокрема хрестовин карданних валів. Її властивості забезпечуються хімічним складом та спеціальною термічною обробкою.

Розшифрування марки сталі 20ХГНТР [17-20]:

20 — вміст вуглецю близько 0,20%.

Х — хром (Cr), який підвищує міцність і твердість.

Г — марганець (Mn), який покращує міцність і прогартовуваність.

Н — нікель (Ni), який надає сталі в'язкості.

Т — титан (Ti), який підвищує дрібнозернистість сталі, що позитивно впливає на механічні властивості.

Р — бор (B), який значно підвищує прогартовуваність навіть у малих кількостях.

Хімічний склад у % сталі 20ХГНТР наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Масова доля елементів сталі 20ХГНТР по ДСТУ 7809:2015

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Cu	N	W	B	Fe
0,18- 0,24	0,17- 0,37	0,8- 1,1	<0,04	<0,04	0,4- 0,7	<0,11	0,4- 0,7	<0,05	0,03- 0,09	<0,3	<0,012	<0,2	0,0008 - 0,005	~97

3.2.2 Механічні властивості сталі 20ХГНТР

Ця сталь вирізняється оптимальним поєднанням твердої поверхні та в'язкої, міцної серцевини. Така комбінація властивостей досягається завдяки проведенню цементації з подальшим гартуванням і відпуском.

Твердість: після термічної обробки верхній шар набуває дуже високої твердості, обумовленої насиченням С під час цементації, що забезпечує підвищену стійкість до інтенсивного зношування.

В'язкість: внутрішня частина хрестовини зберігає в'язкість і пластичність, завдяки чому виріб здатний ефективно протистояти ударним та змінним навантаженням без ризику крихкого руйнування.

Висока міцність: унаслідок легування та правильно підбраного режиму термообробки сталь демонструє значну міцність на розтяг і високу межу плинності.

Зносостійкість: тверда цементована поверхня забезпечує чудову стійкість до стирання, що є особливо важливим для деталей типу хрестовин, які працюють у складних умовах тертя та навантажень.

Механічні властивості сталі 20ХГНТР наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 20ХГНТР при T=20°C

σ_b (МПа)	σ_T (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж/м ²)
1180	980	9	50	780

3.2.3 Технологічні властивості сталі 20ХГНТР

Термообробка: сталь добре піддається термічній обробці, що дозволяє створити міцний поверхневий шар:

- гартування у маслі при $t = 860,0$ °С протягом 2,20 год.;
- низький відпуск на повітрі при $t = 210,0$ °С протягом 0,60 год.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Ця сталь схильна до відпускної крихкості, тому вимагає дотримання режиму термообробки.

Флокеночутливість: не чутлива.

Температура критичних точок сталі 20ХГНТР:

$A_{c1} = 740^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 830^{\circ}\text{C}$, $A_{r3} = 725^{\circ}\text{C}$, $A_{r1} = 650^{\circ}\text{C}$

(A_{c1} і A_{c3} — це температури, при яких починається і завершується фазовий перехід (аустиєнізація) при нагріві;

A_{r1} і A_{r3} — це температури, при яких починається і завершується фазовий перехід (аустиєнітне перетворення) при охолодженні).

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Аналіз і вибір методу відновлення хрестовини карданної передачі електрофургону

4.1 Огляд способів усунення дефектів хрестовини

Для усунення дефектів хрестовини карданної передачі вибираємо способи відновлення та послідовність операцій – табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік дефектів хрестовини, способи відновлення та послідовність операцій [20-22]

Дефект	Спосіб відновлення	Найменування та зміст операції
1. Погнутість	Правка	Правка
2. Зношення шийок хрестовини	Наплавлення, наступна обробка	Шліфування
		Наплавлення
		Термообробка
		Шліфування
		Контролювання
3. Зношення торців шипів	Наплавлення, наступна обробка	Шліфування
		Наплавлення
		Термообробка
		Шліфування
		Контролювання

4.2 Аналіз методів відновлення хрестовини

Відновлення хрестовини відіграє важливу роль у ремонтному виробництві, оскільки дає змогу значно знизити витрати на технічне обслуговування машин і обладнання. Собівартість відновлення, як правило, у 2-3 рази нижча за вартість виготовлення нової хрестовини. Це пояснюється тим, що під час відновлення використовують набагато менше металу, електроенергії та трудових ресурсів, адже основа хрестовини карданної передачі зберігається, і необхідно відновити лише зношені чи пошкоджені ділянки.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ремонтне виробництво має у своєму розпорядженні достатньо різноманітних технологічних методів, які дозволяють відновлювати майже всі зношені чи пошкоджені хрестовини карданної передачі. Виняток становлять лише елементи, виготовлені з гуми, пластмас або деревини, адже їхні фізичні властивості обмежують можливості якісного відновлення. Вибір конкретного способу відновлення багато в чому визначається геометричною формою хрестовини карданної передачі, характером пошкоджень та ступенем зношення її робочих поверхонь.

Різноманіття доступних технологічних методів пояснюється тим, що кожен із них розроблений для усунення певної групи дефектів, які можуть суттєво відрізнятися за походженням і складністю. Завдяки цьому у виробництві потрібно підібрати оптимальний спосіб, який забезпечить надійне відновлення працездатності хрестовини карданної передачі.

Найхарактерніші дефекти хрестовини:

- зношення, унаслідок чого хрестовина втрачає точність і функціональність;
- механічні пошкодження (відломи, тріщини подряпини, викришування чи пробоїни, які виникають під дією навантажень або в результаті неправильного використання);
- руйнування захисних шарів, нанесених гальванічними методами, що знижує стійкість хрестовини карданної передачі до корозії та зовнішніх впливів.

Такий комплексний підхід до класифікації дефектів дає змогу точніше визначати оптимальну технологію відновлення, підвищуючи довговічність і надійність хрестовини.

Деталі з такими дефектами потребують повного або часткового відновлення. Основною метою ремонтних робіт є повернення хрестовині карданної передачі її початкових експлуатаційних характеристик, зокрема наступних важливих якостей:

- міцність і надійність конструкції;
- точність форми та відповідність необхідним розмірам;
- стану і властивостей поверхневого шару, який забезпечує довговічність;

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– необхідний рівень шорсткості, що впливає на тертя й зношування.

Під дією високих навантажень, накопичення втомних явищ, локальних деформацій та інших експлуатаційних факторів у можуть утворюватися пошкодження. Їхня поява суттєво знижує як статичну, так і втомну міцність елементів, що робить подальшу безпечну роботу обладнання неможливою. Крім того, глибокі забоїни, подряпини та інші пошкодження поверхні також негативно впливають на опір матеріалу втомі.

Тому у процесі відновлювальних робіт особливу увагу приділяють поверненню хрестовинам їхніх міцнісних властивостей, забезпечуючи не лише зовнішню цілісність, а й надійну роботу протягом подальшого терміну експлуатації.

Елементи хрестовини карданної передачі, які під час експлуатації зазнають зношування, поступово втрачають свої початкові розміри, форму та точність взаємного розташування поверхонь. Тому в процесі відновлення таким елементам необхідно повернути початкові геометричні параметри.

У більшості деталей електрофургонів і дорожньої техніки спостерігаються зміни в поверхневих шарах, спричинені корозійними процесами, наклепом, внутрішніми напруженнями та структурними перетвореннями металу. Ураження найчастіше починається з тонких верхніх шарів, які є найбільш вразливими до зовнішніх впливів. Порушення шорсткості та зміна структури поверхневого шару суттєво знижують міцність і довговічність хрестовини карданної передачі.

Під час відновлення таких елементів важливо відновити оптимальну шорсткість та якість поверхневого шару. Це досягається шляхом видалення пошкоджених ділянок металу з одночасним дотриманням вимог до форми, точності та розмірів поверхонь, що забезпечує стабільну роботу хрестовини карданної передачі у подальшій експлуатації.

Ефективність та кінцева якість відновлення значною мірою залежать від правильно обраного технологічного методу. Серед найпоширеніших способів, які застосовуються у виробничій практиці, можна виокремити: механічну обробку, зварювання та наплавлення, напилення різними технологіями, гальванічне та

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хімічне відновлення, обробку тиском. Кожен із цих методів має свої переваги та сфери застосування.

Вибір конкретного способу відновлення визначається не лише характером дефекту, а й матеріалом, з якого виготовлена хрестовина. Різні метали і сплави по-різному реагують на нагрівання, механічну обробку або хімічний вплив, тому технолог повинен враховувати їхню структуру та властивості.

Завдяки цим перевагам зварювання і наплавлення залишаються одними з найефективніших способів відновлення, забезпечуючи достатню міцність і довговічність відновлених деталей.

Під час відновлення зношених або пошкоджених хрестовин застосовують різні види та способи зварювання і наплавлення, кожен з яких має свої особливості та сферу доцільного використання. Найбільш поширені наступні:

- газове зварювання, яке забезпечує плавне нагрівання металу й підходить для тонких деталей;
- ручне дугове зварювання, яке дозволяє виконувати ремонт у важкодоступних місцях та вирізняється універсальністю;
- напівавтоматичне зварювання в середовищі CO₂, яке забезпечує високу якість шва та продуктивність;
- напівавтоматичне зварювання дротом;
- напівавтоматичне зварювання порошковим дротом, яке забезпечує хороше проплавлення та зменшує потребу в захисних газах;
- вібродугове наплавлення, яке дозволяє наносити зносостійкі шари з підвищеною міцністю;
- електроконтактне зварювання, яке ефективне для з'єднання тонких металевих елементів та локального відновлення.
- автоматичне наплавлення під шаром флюсу, яке вирізняється стабільністю процесу та високою продуктивністю;

Таким чином, наведені способи забезпечують оптимальне поєднання доступності, якості та продуктивності при відновленні більшості машинних деталей.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Вибір методу відновлення шийок хрестовини карданної передачі

Довговічність відремонтованих електрофургонів значною мірою визначається тим, які саме способи застосовуються для відновлення хрестовин та наскільки чітко організований увесь процес відновлення. Використання найбільш ефективних ТП забезпечує тривалий строк служби відновлених елементів, зменшує потребу в запасних частинах, скорочує витрати матеріалів, енергії та трудових ресурсів, а також підвищує загальну надійність ТЗ.

Вибір оптимального способу наплавлення є досить складним завданням, оскільки він залежить від великої кількості взаємопов'язаних чинників. Під час визначення найбільш доцільного методу наплавлення необхідно враховувати такі аспекти:

- а) матеріал і хімічний склад та ФМВ хрестовини карданної передачі;
- б) тип термічної обробки та рівень поверхневої твердості;
- в) умови роботи хрестовини карданної передачі;
- г) ступінь і характер зношення, необхідну товщину наплавленого шару;
- д) допустимі деформації хрестовини карданної передачі, зміни поверхневої твердості та втомної міцності, які можуть виникати внаслідок відновлення;
- е) способи подальшої механічної обробки.

Автоматичне наплавлення під шаром флюсу та ручне дугове наплавлення застосовують для відновлення габаритних деталей, які мають значні зношення. Такі методи забезпечують нанесення товстих шарів металу та допускають суттєві теплові впливи без ризику пошкодження хрестовини карданної передачі.

Оскільки ручне наплавлення електродами не забезпечує формування наплавленого шару з ФМВ, порівнюваними з результатами автоматичного наплавлення під флюсом, то потрібно віддавати перевагу саме автоматичному наплавленню.

Наплавлення деталей у середовищі CO₂ має ряд переваг порівняно з автоматичним наплавленням під шаром флюсу. Серед них — можливість виконувати наплавлення за будь-якого просторового положення хрестовини, що

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значно розширює технологічні можливості. Продуктивність процесу за площею покриття при цьому підвищується на (20–30) %, одночасно відсутня трудомістка операція з відділення шлакової кірки, а фактична продуктивність залишається не нижчою, ніж при наплавленні під флюсом.

Високий ступінь щільності дуги забезпечує мінімальне нагрівання хрестовини карданної передачі, що зменшує ризик її деформації. Метод дозволяє накладати шар невеликої товщини (0,80-1,50 мм), забезпечує видимість зони зварювання та можливість роботи зі швами складної конфігурації, навіть у важкодоступних положеннях. Додатковою перевагою є низька вартість вуглекислого газу порівняно зі флюсом.

Застосування тонкого електродного дроту товщиною (0,50–1,20) мм при малих струмах, у поєднанні з високою видимістю процесу, дозволяє широко використовувати цей спосіб для відновлення тонколистових деталей, а також механізувати наплавлення на дрібних елементах, таких як вали діаметром від 10,0 мм і більше. Такий метод підвищує точність робіт, скорочує час відновлення та забезпечує отримання якісного, однорідного наплавленого шару навіть на складних за формою деталях.

Наплавлення в середовищі CO₂ перевершує ручне дугове наплавлення за продуктивністю у (3–5) разів і забезпечує формування металу значно вищої якості. Крім того, цей спосіб дає змогу зменшити теплові деформації та отримати більш однорідну структуру наплавленого шару, що позитивно впливає на довговічність відновленої хрестовини карданної передачі.

Отже, на підставі наведених даних і відповідно до технічних вимог, які передбачають забезпечення високої твердості та підвищеної зносостійкості робочої поверхні хрестовини карданної передачі, а також сувору точність геометричних параметрів, найбільш раціональним способом усунення дефектів є наплавлення в середовищі CO₂, яке поєднує високу якість, доступність і технологічну ефективність. Саме цей метод дозволяє сформувати необхідний захисний шар і відновити розміри без втрати міцності та працездатності хрестовини карданної передачі.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Технологія відновлення хрестовини напівавтоматичним наплавленням у середовищі вуглекислого газу

Цей метод значно відрізняється від більшості інших способів відновлення деталей тим, що при його застосуванні не використовуються ні флюси, ні електродні покриття. У зону наплавлення через сопло пальника подається CO_2 , який виконує роль надійного захисту рідкого металу від впливу O_2 та N_2 повітря (рис. 4.1). Завдяки цьому газ ізолює робочу зону від зовнішнього середовища, що дозволяє отримати наплавлений метал високої якості з міні кількістю пор, включень та оксидних плівок [20].

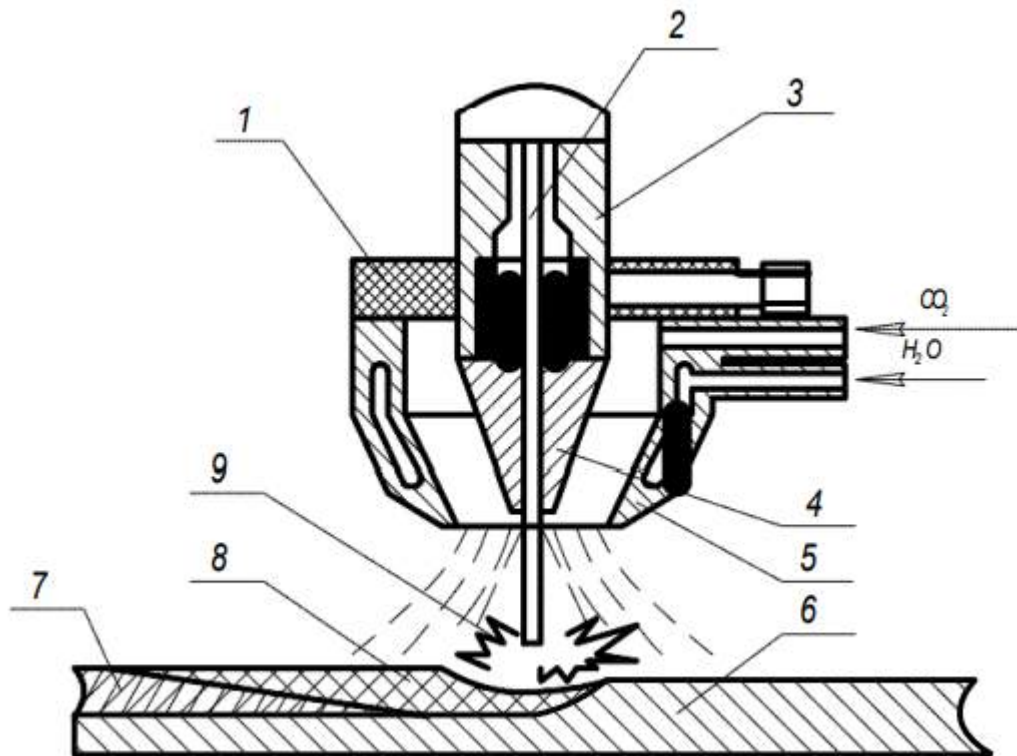


Рисунок 4.1 – Схема напівавтоматичного наплавлення у хрестовині у CO_2 [20]:

1 – кронштейн; 2 – дріт електродний; 3 – мундштук; 4 – наконечник; 5 – сопло; 6 – хрестовина; 7 – шар наплавлений; 8 – ванна рідкого металу для зварювання; 9 – дуга електрична

Електричний дріт подається у зону наплавлення безперервно, а струм підводиться до дроту через наконечник, розташований у центрі мундштука

						КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
							45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

пальника. Під дією високої температури електричної дуги на поверхні хрестовини карданної передачі формується рідка ванна металу, у якій інтенсивно перемішуються матеріали електрода та хрестовини. Це забезпечує отримання однорідного шару наплавленого металу, який володіє високими ФМВ та міцною адгезією до основного матеріалу хрестовини.

Такий спосіб наплавлення дозволяє досягати високої продуктивності, стабільної якості відновлення та значного зниження дефектів у готовому відновленому елементі, що робить його особливо ефективним для відповідальних деталей автомобільної та машинобудівної техніки.

Недоліки способу наплавлення у середовищі вуглекислого газу наступні [20-22]:

- підвищене розбризкування розплавленого металу, що вимагає додаткових заходів безпеки та очищення робочої зони;
- схильність наплавленого шару до утворення тріщин, особливо при недостатньому контролі температури та швидкості наплавлення;
- необхідність використання легованого дроту, щоб отримати метал наплавлення з потрібними ФМВ та достатньою міцністю для подальшої експлуатації хрестовини карданної передачі.

Для наплавлення використовують напівавтомат ПДПГ-300. Такий вибір обладнання дає змогу забезпечити рівномірність наплавленого шару та високу якість поверхні. Наплавлення проводимо при зворотній полярності [22-25].

Також застосовуємо [22-25]:

- перетворювач ПСГ-500;
- випрямляч ВСС-300.

Параметри відновлення:

- зварювальний струм $I_c = 200$ А;
- напруга зварювання $U_c = 25$ В;
- швидкість зварювання $V_c = 12$ мм/с;
- робочий тиск газу 170 кПа;
- витрати газу 12 л/хв.;

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- густина струму $I_{ст} = 100 \text{ А/мм}^2$;
- порошковий дріт ПП-5ХВЗГ2СТ;
- діаметр дроту $\varnothing = 1,8 \text{ мм}$;
- виліт дроту із наконечника пальника $h = 15,0 \text{ мм}$;
- твердість наплавленого шару НВ 240.

Підготовка металу до наплавлення виконується наступним чином [23]:

1. Щоб у наплавленому металі не виникали дефекти, кромки майбутнього зварного шва слід ретельно очищати від іржі, пилу, різних забруднень, залишків мастил і вологи.

2 Очищення проводять по обидва боки від зазору, охоплюючи смугу приблизно до 30,0 мм.

3 Залежно від того, наскільки сильно забруднена поверхня, оброблення кромки може здійснюватися різними методами: протирання сухою чи злегка змоченою ганчіркою, механічне очищення металевою щіткою, обробка піскоструминним обладнанням або знежирення з подальшим хімічним травленням.

Така ретельна підготовка забезпечує високу якість майбутнього зварного з'єднання та запобігає появі пор, включень чи інших недоліків у металі.

4.4.1 Режим термічної обробки хрестовини після відновлення

Термічну обробку хрестовини після відновлення проводили у муфельній печі СНО СНОП-8.16.5/11. Режим термічної обробки наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Режим термічної обробки хрестовини після відновлення

Найменування операції	Середовище	Режим		
		Температура, °С	Тривалість, год.	
			нагрівання	витримки
Гартування	Масло	860	0,90	1,30
Низький відпуск	Повітря	210		0,60

Основні механічні характеристики хрестовини після термообробки:

- твердість HB 320;
- межа міцності на розрив – до 800 Н/мм²;
- межа текучості 640 Н/мм²;
- ударна в'язкість – до 65 Дж/см².

4.5 Основні вимоги з охорони праці під час виконання напівавтоматичного наплавлення хрестовини

Щодо ТБ – усі роботи з підготовки установки до початку наплавлення повинні виконуватися при вимкненому рубильнику. Наплавлення хрестовини дозволяється здійснювати тільки під наглядом інженера, у спеціальному захисному одязі та з використанням зварювальної маски. Під час роботи категорично забороняється торкатися струмопровідних частин установки, щоб уникнути ураження електричним струмом. Перед увімкненням подачі CO₂ обов'язково слід увімкнути витяжну вентиляцію, що забезпечує відведення шкідливих газів і диму.

Дотримання цих ТБ та технологічних вимог дозволяє не лише запобігти травмам і ушкодженням, але й забезпечити високу якість наплавленого металу, тривалу службу відновлених деталей і ефективність самого процесу відновлення [20-22].

Таким чином, основні вимоги з охорони праці під час виконання напівавтоматичного зварювання такі [23]:

1. Перед запуском зварювального напівавтомата слід обов'язково переконатися в справності всіх елементів пускового обладнання, зокрема рубильника або кнопкового вимикача.

2. Корпуси джерела живлення зварювальної дуги, а також апаратного ящика мають бути надійно заземлені для запобігання ураженню електричним струмом.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Під час вмикання напівавтомата необхідно спочатку подати живлення через рубильник чи магнітний пускач, і лише після цього вмикати апаратний ящик. Вимкнення проводять у зворотній послідовності.

4. Шланги, якими подається захисний газ або здійснюється водяне охолодження, повинні бути герметичними. У місцях їх приєднання до штуцерів не допускається витік газу чи води.

5. Категорично забороняється сидіти або спиратися на джерело живлення дуги чи апаратний ящик, оскільки це є небезпечним.

6. Якщо зварювання виконується відкритою дугою на відстані меншій за 10 метрів від інших працівників, необхідно встановлювати захисні огороження або користуватися спеціальними захисними окулярами.

7. Намотування зварювального дроту з бухти на касету дозволяється виконувати лише після проведення відповідного інструктажу.

8. Після завершення робіт слід вимкнути подачу електричного струму, газу та води.

9. У разі виявлення будь-яких несправностей у роботі обладнання потрібно негайно повідомити майстра цеху й не приступати до подальших робіт без його дозволу.

10. Зварнику заборонено самостійно усувати несправності в напівавтоматичному обладнанні; це повинні робити уповноважені спеціалісти.

4.6 Технологічний процес відновлення хрестовини карданної передачі

Принципи визначення технологічного процесу відновлення хрестовини карданної передачі:

- дефекти, включені в кожен маршрут, повинні бути сумісними та технологічно доцільними;
- мінімізація маршрутів;
- врахування способу відновлення (обраний технологічний метод наплавлення чи обробки);

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– економічна ефективність (відновлення хрестовини карданної передачі по обраному маршруту має забезпечувати оптимальне співвідношення витрат і якості кінцевого результату.

Дотримання цих принципів дозволяє створити раціональний ТП, що забезпечує точність, якість і довговічність відновлених хрестовин, зменшує витрати часу та ресурсів.

Технологічний процес відновлення хрестовини карданної передачі наведений у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічний процес відновлення хрестовини карданної передачі

№ операції	Найменування операції	Зміст операції
005	Правка	Правка на пристосуванні
010	Шліфування	Шліфування шипів
015	Наплавлення	Наплавлення шипів
020	Термічна обробка	Термообробка шипів
025	Шліфування	Зміна розмірів шипів на початкові
030	Контрольна	Контроль розмірів хрестовини карданної передачі

Розробка операцій ТП відновлення хрестовини наведена у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Розробка операцій ТП відновлення хрестовини

№ операції	Найменування операції	Зміст операції
005	Правка	1. Установити та закріпити хрестовину на пристосування
		2. Виконати правку хрестовини
		3. Зняти хрестовину з пристосування

010	Шліфування	1. Установити та закріпити хрестовину у пристосуванні
		2. Шліфувати шийки хрестовини на глибину $h = 0,30$ мм за 2 установки
		3. Шліфувати торці шипів хрестовини на глибину $h = 0,4$ мм за 4 установки
		4. Зняти хрестовину з пристосування
015	Наплавлення	1. Установити та закріпити хрестовину на пристосування
		2. Наплавити шийки шипів хрестовини на розмір $\varnothing 16,2$ мм
		3. Наплавити торці шипів на розмір 60,0 мм
		4. Зняти хрестовину з пристосування
020	Термічна обробка	1. Установити хрестовину у муфельну піч СНО СНОП-8.16.5/11
		2. Виконати термообробку згідно режиму
		3. Вийняти хрестовину з муфельної печі
025	Шліфування	1. Установити і закріпити хрестовину у пристосуванні
		2. Шліфувати шийки хрестовини до розміру $\varnothing 14h$ мм за дві установки
		3. Шліфувати торці шипів хрестовини до розміру 56 мм
		4. Зняти хрестовину з пристосування
030	Контроль	Контролювати розміри хрестовини карданної передачі

4.7 Призначення обладнання, ріжучого інструменту та пристосувань для відновлення та термічної обробки хрестовини

На діючих підприємствах з ТО та відновлення електрофургонів необхідно враховувати наявне обладнання та інструмент. Однак їх наявність не повинна бути вирішальним фактором, якщо застосування спеціалізованого обладнання дозволяє досягти раціонального використання ресурсів, підвищення продуктивності праці та зниження собівартості відновлених деталей.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншими словами, головним пріоритетом є технологічна ефективність та економічна доцільність: вибір обладнання та інструменту повинен забезпечувати оптимальне співвідношення продуктивності, якості та витрат, навіть якщо це вимагає використання нових або більш складних технологічних засобів. Призначене устаткування та різальний інструмент для відновлення хрестовини наведено у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Призначене устаткування та різальний інструмент для відновлення хрестовини

№ операції	Найменування операції	Устаткування і пристосування	Найменування та коротка характеристика різального інструменту
005	Правка	Кривошипно-механічний прес КД-2124	
010	Шліфування	Круглошліфувальний верстат 3М151П	Алмазний шліфувальний круг ПП 1А1
015	Наплавлення	Напівавтомат ПДПГ-300	
020	Термічна обробка	Муфельна піч СНО СНОП-8.16.5/11	
025	Шліфування	Круглошліфувальний верстат 3М151П	Алмазний шліфувальний круг ПП 1А1

5 Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану хрестовини карданної передачі

5.1 Загальні відомості про комп'ютерне моделювання

SW, створений американською компанією SolidWorks Corp., є високоефективним інструментом інженерного проєктування, який повністю задовольняє потреби щоденної практичної роботи конструктора. Програмний комплекс слугує фундаментом для побудови інтегрованої системи автоматизації підприємства та забезпечує наскрізний процес створення виробу — від початкового проєктування і детального інженерного аналізу до підготовки виробництва виробів будь-якої форми, складності та призначення. Система не накладає обмежень на кількість компонентів у великогабаритних складальних моделях, пропонує широкі можливості для формування конструкторської документації, роботи з листовими деталями, а також для отримання фотореалістичних візуалізацій. Крім того, SW повністю відповідає вимогам ЄСКД щодо правил оформлення технічної документації [26].

Програмне середовище SW є сучасною системою автоматизованого проєктування механічних компонентів, що ґрунтується на параметричному твердотільному моделюванні. Воно містить інтуїтивно зрозумілий та зручний графічний інтерфейс, характерний для операційної системи Windows, що значно підвищує комфорт і швидкість роботи користувача, роблячи процес моделювання доступним та ефективним як для початківців, так і для досвідчених інженерів.

У SW модель тісно пов'язана з кресленнями деталей і складальними кресленнями, які використовують її як основу. Усі зміни, внесені безпосередньо в модель, автоматично відображаються в пов'язаних із нею кресленнях і збірках, що забезпечує повну узгодженість даних у проєкті. Так само можливе коригування параметрів прямо у кресленнях або складальних документах — система самостійно перенесе відповідні зміни назад у модель, підтримуючи цілісність і актуальність конструкції на всіх етапах розробки.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні взаємозв'язки, зокрема паралельність, перпендикулярність, горизонтальність, вертикальність, концентричність та інші, становлять лише частину набору обмежень, який пропонує SW. Крім того, для створення складніших логічних і математичних залежностей між параметрами можна застосовувати спеціальні рівняння. Використання таких обмежень і формул дозволяє точно реалізувати та стабільно підтримувати важливі концепції проєкту — наприклад, формування наскрізних отворів із фіксованими характеристиками або забезпечення однакових радіусів у групі геометричних елементів, що підвищує точність моделі та спрощує внесення подальших змін.

Для максимально результативного застосування можливостей параметричного моделювання в SW важливо заздалегідь продумати та ретельно сформулювати загальну концепцію майбутнього проєкту ще до початку безпосереднього створення моделі. Під задумом проєкту слід розуміти структурований план дій, який визначатиме, як саме поводитиметься модель під час подальшого коригування її параметрів, геометрії або окремих елементів. Якість реалізації цієї початкової ідеї значною мірою залежить від кількох ключових аспектів, серед яких можна виділити наступні [26]:

- автоматичні взаємозв'язки, які формуються під час створення ескізу;
- додаткові геометричні взаємозв'язки, які користувач може встановлювати вручну;
- спосіб та послідовність нанесення розмірів;
- використання математичних рівнянь для створення залежностей між параметрами.

Усі зазначені фактори мають істотний вплив на подальшу зручність модифікування та уточнення моделі, адже вони визначають, наскільки гнучкою та передбачуваною буде конструкція при внесенні змін. Уміння грамотно поєднати ці елементи свідчить про високий рівень підготовки користувача і демонструє його професіоналізм у плануванні концепції та подальшому створенні будь-якої параметричної моделі в SW [26].

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес моделювання починається з вибору конструктивної площини, в якій будується двомірний ескіз. У подальшому цей ескіз можна перетворити у тверде тіло. При створенні ескізу є доступ до повного набору геометричних побудов та операцій редагування. Ескіз конструктивного елемента може бути легко відредаговано у будь-який момент роботи над моделлю [27].

Основними формоутворюючими операціями у SW є команди додавання і зняття матеріалу. Система дозволяє:

- видавлювати контур із різноманітними кінцевими умовами, у тому числі на задану довжину або до вказаної поверхні;
- обертати контур навколо заданої осі;
- створювати тіло по заданому контуру.
- видавлювати контур поздовж заданої траєкторії;
- будувати лінійні нахили на вибраних гранях моделі, площини в твердих тілах із завданням різної товщини;
- будувати округлення постійного та змінного радіусу;
- будувати фаски та отвори складної форми.

Процес створення моделі в SW починається з вибору базової конструктивної площини, на якій формується 2-вимірний ескіз майбутнього елемента. Після побудови та уточнення цей ескіз може бути перетворений у 3-вимірне тверде тіло шляхом застосування відповідних операцій моделювання. Під час роботи над ескізом користувач має доступ до повного набору інструментів геометричного креслення, редагування, прив'язок та допоміжних побудов. Будь-який ескіз, що виступає основою для створення конструктивного елемента, залишається доступним для змін у будь-який момент, що дозволяє гнучко коригувати модель і швидко адаптувати її до нових вимог [27].

До основних операцій, які формують геометрію твердого тіла в SW, належать інструменти додавання або видалення матеріалу. Система забезпечує можливість:

- виконувати операцію видавлювання ескізного контуру з різними варіантами кінцевих умов, включаючи фіксовану довжину, видавлювання до вибраної поверхні чи до перетину з іншим тілом;

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснювати обертання контуру навколо визначеної осі для створення тіл обертання;
- генерувати тверде тіло на основі заданого поперечного профілю;
- виконувати видавлювання уздовж визначеної траєкторії, що дозволяє будувати складні просторові форми;
- створювати лінійні нахили на окремих гранях, а також формувати площини всередині твердих тіл із можливістю задавати змінну або сталу товщину;
- будувати округлення з постійним або змінним радіусом, що забезпечує плавні переходи між поверхнями;
- формувати фаски, а також конструювати отвори різної складності та конфігурації.

Такий набір можливостей робить SW універсальним та надзвичайно гнучким інструментом для створення моделей будь-якого рівня складності.

Важлива перевага SW – здатність автоматично формувати розгортки деталей, спроектованих з листового матеріалу. У процесі роботи користувач може не лише отримати повноцінну розгортку, а й за потреби додавати до неї нові лінії згину, вирізи або інші конструктивні елементи, які автоматично враховуються в загальній моделі. Це значно спрощує підготовку виробів до виготовлення та дозволяє точно контролювати параметри листових деталей.

Окрім потужних інструментів для побудови твердотільних моделей, SW також підтримує розширені можливості поверхневого моделювання. Користувач може створювати поверхні на основі еквідистанти до вибраних елементів, будувати складні поверхневі переходи та імпортувати поверхні з інших CAD-систем.

Створення кресленика в SW здійснюється шляхом фіксації моделі в потрібному положенні та автоматичного відображення її контурів, після чого можна додавати розміри, технічні вимоги та інші необхідні елементи оформлення. Це забезпечує швидкий перехід від 3D-моделі до повноцінної конструкторської документації.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SWS — це інтегрована із САПР-системою SW потужна платформа для аналізу конструкцій, яка забезпечує автоматизацію робіт на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва, а також під час розрахунків вузлів і складальних одиниць. Даний модуль дозволяє інженерам виконувати широкий спектр досліджень, зокрема лінійний і нелінійний статичний аналіз, оцінювання власних частот і перевірку стійкості конструкцій; проводити теплові розрахунки; моделювати поведінку виробу під час ударних навантажень; здійснювати лінійний та нелінійний динамічний аналіз, а також виконувати оптимізаційні дослідження для вдосконалення конструкції. Завдяки таким можливостям система стає універсальним інструментом для інженерів, які прагнуть підвищити надійність, ефективність та економічність своїх виробів [26-28].

Статичний аналіз використовується для визначення рівня напружень, деформацій і переміщень, які виникають під час реальної експлуатації виробу. Отримані результати допомагають попередити можливі руйнування, зменшити масу або габарити конструкції, а також оптимізувати використання матеріалу. Розрахунок навантажень у вузлах і складальних одиницях забезпечує технічний контроль та дає можливість оцінити запас міцності виробу. Крім того, статичний аналіз у SolidWorks Simulation надає інженеру важливу інформацію для внесення конструктивних змін, що сприяє підвищенню надійності, довговічності та загальних експлуатаційних характеристик деталей і виробу в цілому.

Програмне забезпечення використовує МСЕ, який є числовим підходом до аналізу технічних конструкцій та інженерних об'єктів. МСЕ став загальноприйнятим стандартом у галузі комп'ютерного моделювання завдяки своїй універсальності, високій точності та здатності ефективно вирішувати складні задачі на сучасних обчислювальних системах. Суть методу полягає у тому, що модель поділяється на безліч дрібних фрагментів простої геометричної форми — елементів. Такий поділ дає змогу замінити складну задачу поведінки цілого об'єкта набором більш простих задач, які потрібно розв'язати одночасно.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програма автоматично формує математичні рівняння, які описують реакцію кожного окремого елемента, враховуючи його взаємодію із сусідніми елементами в структурі моделі. Ці рівняння поєднують реакції конструкції з відомими фізико-механічними властивостями матеріалів, накладеними обмеженнями та прикладеними навантаженнями. Після цього програмне забезпечення впорядковує всі отримані залежності в єдину розгалужену систему алгебраїчних рівнянь і виконує обчислення, щоб визначити невідомі параметри. У результаті інженер отримує детальну картину поведінки конструкції, що дозволяє глибше аналізувати її працездатність і покращувати на етапі проєктування.

Під час експлуатації конструкційна модель зазвичай піддається впливу різноманітних технічних середовищ та умов роботи протягом усього свого життєвого циклу. Саме тому надзвичайно важливо враховувати всі можливі сценарії навантажень, граничні умови, а також передбачати варіанти застосування різних матеріалів із відмінними характеристиками під час аналізу. Проведення будь-якого дослідження моделювання визначається низкою ключових чинників, серед яких [26-28]:

- геометричні розміри моделі;
- тип обраного дослідження та пов'язані з ним параметри, які визначають мету аналізу;
- фізико-механічні властивості матеріалу;
- навантаження та граничні умови.

Перед запуском розрахунку необхідно повністю задати всі матеріальні параметри, яких вимагає відповідний тип аналізу та вибрана модель матеріалу. Модель матеріалу описує характер його поведінки під дією зовнішніх факторів і визначає перелік властивостей, які потрібно врахувати. Граничні умови та навантаження задають середовище, у якому «працює» модель. Кожне прикладене навантаження або встановлене обмеження відображається спеціальним значком у дереві дослідження SWS. Програмне забезпечення також пропонує зручні контекстні параметри, що допомагають коректно визначити всі необхідні умови для розрахунку.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МСЕ забезпечує надійний і перевірений числовий підхід для аналізу проектних розробок різної складності. Робота з використанням цього методу починається зі створення точної геометричної моделі майбутнього виробу. Далі програмне забезпечення здійснює поділ моделі на велику кількість дрібних фрагментів простої форми — елементів, які поєднуються між собою у спільних точках, що називаються вузлами. Процес такого поділу отримав назву побудови СЕС. У подальшому система аналізує модель як єдину мережу елементів, які взаємодіють між собою.

Створення сітки є одним із ключових і визначальних етапів у процесі аналізу конструкції, адже якість сітки значною мірою впливає на точність і стабільність отриманих результатів. Програма автоматично генерує комбіновану сітку для моделей, що містять тверді тіла, оболонкові або балкові елементи. Твердотільні елементи застосовуються для опису масивних і складних об'ємних деталей, оболонки — для тонких геометрій, таких як листові панелі чи вигнуті поверхні, а балкові елементи використовуються для моделювання конструкційних елементів на кшталт профільних стояків або рам.

Після того як користувач обирає матеріали, задає навантаження та граничні умови і формує сітку моделі, можна запускати розрахункове дослідження. Під час виконання аналізу програмне забезпечення автоматично створює візуальні поля результатів — епюри, які відображають напруження, деформації, переміщення та інші потрібні величини. Ці діаграми можна налаштовувати відповідно до потреб дослідження, що робить аналіз більш наочним і зручним для подальшої інженерної оцінки.

5.2 Дослідження працездатності хрестовини після відновлення

5.2.1 Розрахунок навантаження, діючого на хрестовину

1. Елементи, що розглядаються:

а). Хрестовина: центральна частина шарніра, яка з'єднує шипи вилки.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б). Шипи хрестовини: вертикальні та горизонтальні осі, які передають момент обертання.

в). Вилка: деталь, яка обертається навколо шипів хрестовини.

2. Види напружень:

а). Шипи хрестовини: піддаються вигину та стисканню одночасно.

б). Хрестовина: зазнає напружень розриву при передачі моменту.

в). Вилка: піддається дії вигину та скручування, які змінюються під час обертання.

3. Змінні сили:

а). Момент, який передається шарніром під час нахилу валу, не є постійним протягом оберту.

б). Сили, які діють на шипи, хрестовину та вилку, змінюються періодично, тому деталі шарніра піддаються циклічним навантаженням.

4. Вихідні умови для розрахунку:

Вважаємо, що через шарнір передається максимальний крутний момент ДВЗ:

$$M_p = M_{дв\max} * U_I \quad (5.1)$$

де: M_p – розрахунковий крутний момент.

$M_{дв\max} = 209 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – максимальний крутний момент ДВЗ (табл. 1.1).

При розрахунках враховуємо умови першої передачі в КПП, щоб оцінити найбільші можливі навантаження:

$U_I = 3,727$ – передаточне число 1-ї передачі КПП [11].

Тоді:

$$M_p = 209 * 3,727 = 578,943 \approx 579 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Нормальна сила:

$$P = \frac{10^3 M_p}{2r \cos \gamma} \quad (5.2)$$

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $r = 41$ мм – відстань між серединами голчастих роликів протилежно розташованих карданних підшипників (див. рис. Б2);

$\gamma = 3^\circ$ – кут установки карданного валу.

Тоді нормальна сила:

$$P = 10^3 * 579/41 * \cos 3^\circ = 1000 * 14,14 = 14140 \text{ Н}$$

5.2.2 Визначення працездатності хрестовини

Розрахунок починається зі створення геометричної моделі хрестовини карданної передачі (рис. 5.1), після чого призначається матеріал хрестовини з бібліотеки SW – аналогу сталі 20ХГНМ: сталі 1.6523 (рис. 5.2).


Model name: Hrestovyna1 Current Configuration			
Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
	Solid Body	Mass: 0,113551 kg Volume: 1,44651e-05 m ³ Density: 7 850 kg/m ³ Weight: 1,1128 N	D:\FordTransit_KardVal_HrestSW1\Hrestovyna1.SLD PRT Nov 6 15:53:36 2025

Рисунок 5.1 – Параметри 3D-моделі хрестовини карданної передачі



Рисунок 5.2 – Призначення матеріалу хрестовини карданної передачі

5.2.3 Додання в модель хрестовини кріплень

Згідно з розрахунковою схемою проводиться додання в модель хрестовини карданної передачі кріплень. Для цього виберемо тип кріплення «Fixed Geometry» (рис. 5.3).

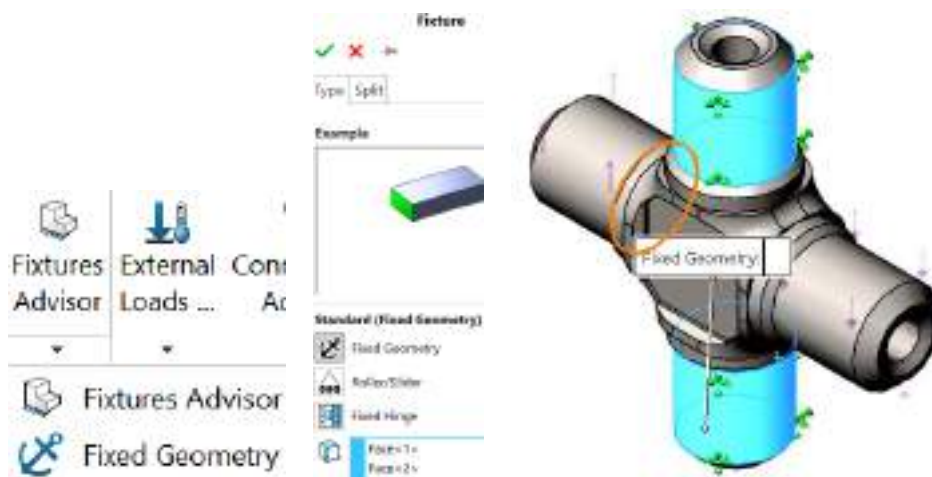


Рисунок 5.3 – Кріплення хрестовини карданної передачі

5.2.4 Прикладення навантажень до моделі хрестовини

Прикладемо навантаження – нормальна силу (формула 5.2). Для цього виберемо команду «Fors», приклавши її до шипів хрестовини карданної передачі з відповідними напрямками (рис. 5.4).

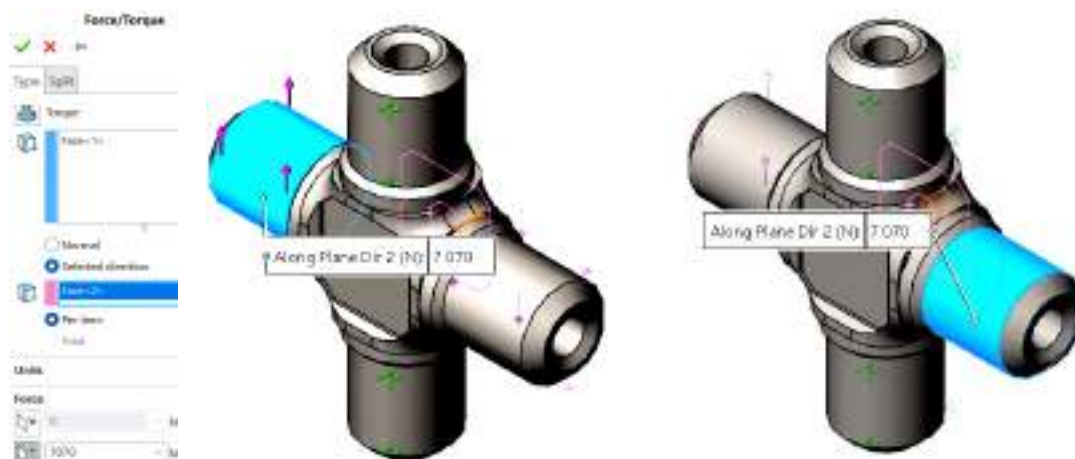


Рисунок 5.4 – Прикладення нормальної сили до моделі хрестовини

5.2.5 Створення сітки моделі хрестовини й виконання розрахунку

Для формування сітки моделі хрестовини карданної передачі виберемо команду «Create Mesh». Усі її параметри залишаємо за умовчанням (рис. 5.5).

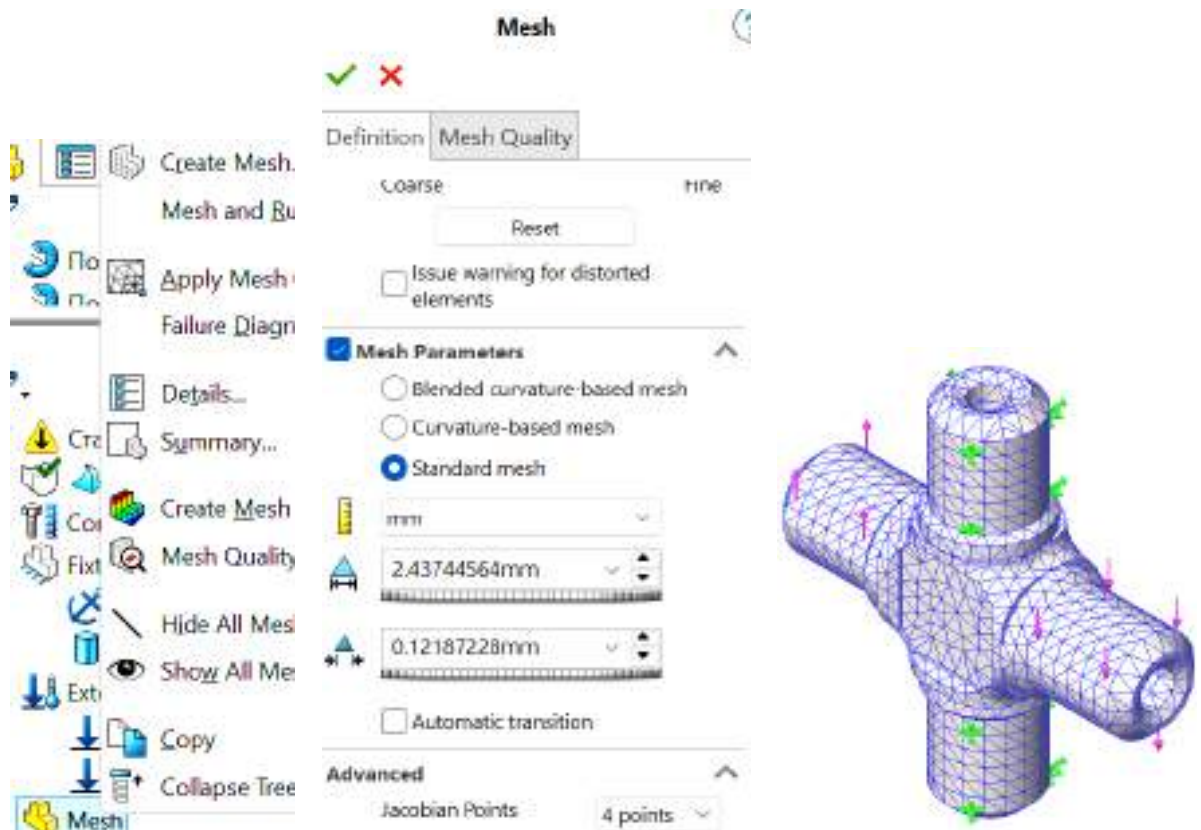


Рисунок 5.5 – Параметри та сама сітка на моделі хрестовини карданної передачі

Запускаємо SWS на розрахунок. Для цього вибираємо команду «Run This Study» (рис. 5.6).



Рисунок 5.6 – Запуск SWS на розрахунок хрестовини карданної передачі

У папці «Результати» дерева дослідження статичної міцності хрестовини карданної передачі за умовчанням доступні 4 види результатів аналізу (рис. 5.7): напруження; результуюче переміщення; еквівалентні деформації; запас міцності.

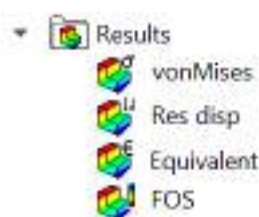


Рисунок 5.7 – Папка «Results» дерева дослідження статичної міцності хрестовини карданної передачі

Для забезпечення більшої інформативності, наочності та зручності подальшого аналізу отриманих результатів слід детально налаштувати діаграми, які відображаються на екрані, скориставшись командою «Параметри графіка». У розділі налаштувань «Епюра напружень» відповідно до встановлених вимог обираємо в якості основних одиниць вимірювання значення в МПа, що дозволяє точніше інтерпретувати дані. Далі, у меню команди «Параметри відображення» необхідно активувати такі опції, як «Відобразити min примітку» та «Відобразити max примітку», «Автоматичне визначення max значення», «Автоматичне визначення min значення», які забезпечать коректне й повне відображення ключових показників на графіку (рис. 5.8).

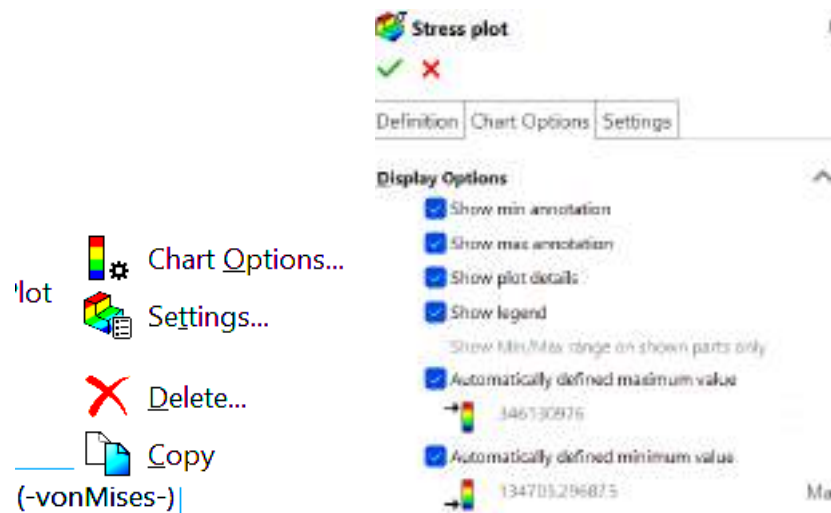


Рисунок 5.8 – Налаштування команди «Параметри відображення»

Результати розрахунків і діаграма напружень «von Mises Stress» хрестовини карданної передачі представлена на рис. 5.9.

Type	Min	Max
VON: von Mises Stress	1,347e+05N/m ² Node: 17712	3,461e+08N/m ² Node: 13085

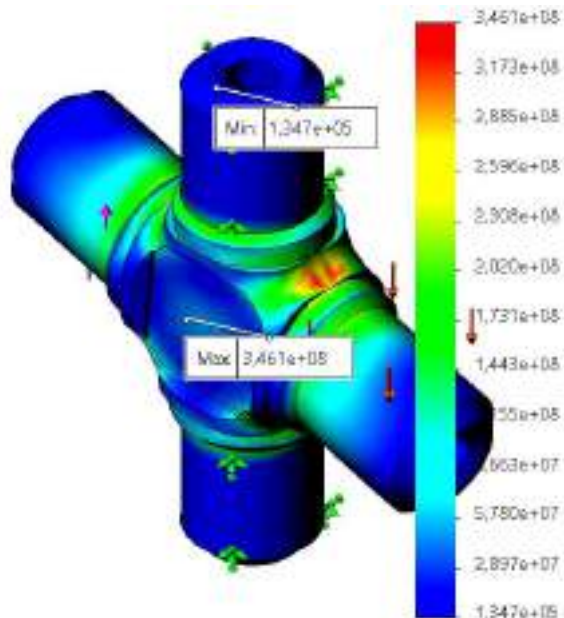


Рисунок 5.9 – Результати розрахунків і діаграма напружень «von Mises Stress» моделі хрестовини карданної передачі

Згідно аналізу діаграми напружень, максимальне значення напруження складає 346,1 МПа, що не перевищує межу плинності матеріалу.

Аналогічним чином виведемо зі звіту діаграму сумарних переміщень, у налаштуваннях якої виберемо згідно вимог в якості одиниць вимірювання мм; відобразимо деформовану форму в режимі авто; зробимо налаштування параметрів аналогічно визначенню напружень хрестовини.

Результати розрахунків і діаграма сумарних переміщень хрестовини представлена на рис. 5.10.

Type	Min	Max
URES: Resultant Displacement	0,000e+00mm	3,960e-02mm
	Node: 93	Node: 651

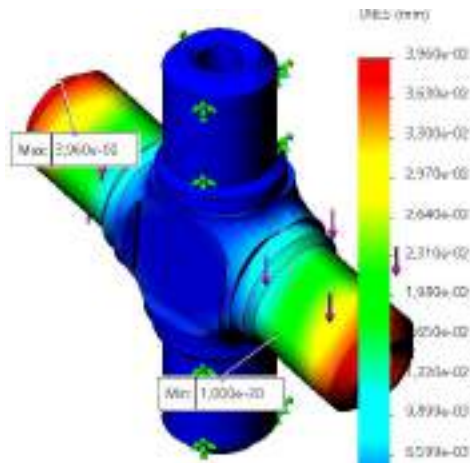


Рисунок 5.10 – Результати розрахунків і діаграма сумарних переміщень URES моделі хрестовини карданної передачі

Аналогічним чином виведемо зі звіту діаграму еквівалентних деформацій ESTRN, яка представлена на рис. 5.11.

Type	Min	Max
ESTRN: Equivalent Strain	5,906e-07 Element: 7193	1,248e-03 Element: 3698

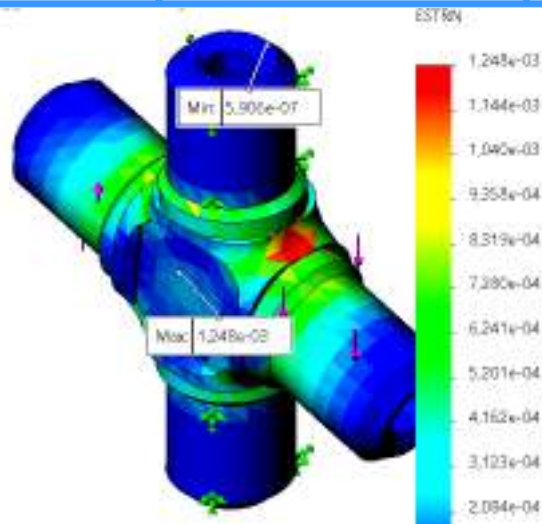


Рисунок 5.11 – Результати розрахунків і діаграма еквівалентних деформацій ESTRN моделі хрестовини карданної передачі

Тепер побудуємо діаграму коефіцієнта запасу міцності. Для цього виберемо команду «Визначити епюру перевірки запасу міцності» (рис. 5.12).



Рисунок 5.12 – Задання команди «Визначити епюру перевірки запасу міцності»

Виберемо «Factor of Safety (FOS)», а у параметрах відображення настроїмо відображення мінімального і максимального значень. Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності представлена на рис. 5.13.

Type	Min	Max
Automatic	1,706e+00 Node: 13085	4,384e+03 Node: 17712

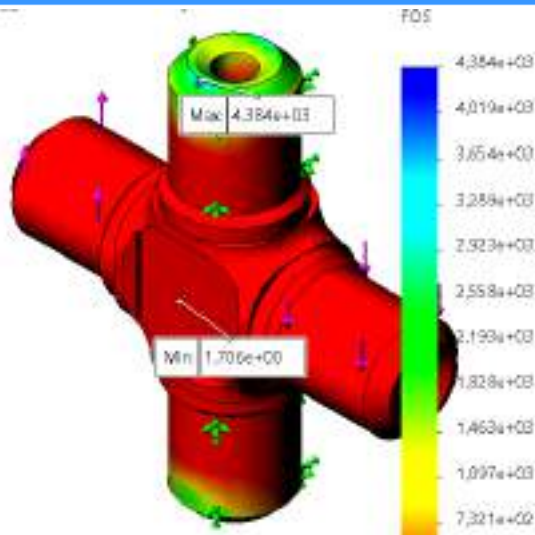


Рисунок 5.13 – Результати розрахунків і діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності FOS моделі хрестовини карданної передачі

Таким чином, вузлові максимальні напруження Von Mises, переміщення URES, деформація ESTRN, а також запас міцності FOS моделі хрестовини

карданної передачі не перевищують допустимих значень, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності $n_{\min} = 1,706$, що більше допустимого $[n_{\min}] = 1,5$.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Техніка безпеки при ремонті карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom

Під час виконання робіт зі зняття та встановлення карданних валів необхідно суворо дотримуватися загальних вимог ТБ, а також правил електробезпеки й протипожежного захисту, оскільки ці операції пов'язані з роботою з важкими та рухомими елементами. Крім того, у процесі демонтажу або монтажу карданного валу, щоб запобігти можливому травмуванню кистей рук обертовими або рухливими частинами механізму, зокрема фланцями, слід обов'язково використовувати спеціальні фіксувальні пристрої або інші засоби утримання. Це значно зменшує ризик випадкового зміщення деталей під час операції. Проводити такі роботи дозволяється виключно тим працівникам, які закріплені за відповідними ТП, пройшли необхідний інструктаж і мають офіційний допуск до виконання робіт підвищеної небезпеки, що гарантує безпечність та якість проведених технічних операцій [29, 30].

Розбирання та складання карданного валу слід виконувати виключно на спеціалізованому стенді, суворо дотримуючись встановленої технології робіт. Особливу увагу необхідно приділяти зняттю та встановленню стопорних кілець, що забезпечують фіксацію осьового переміщення підшипника. Ці елементи слід міцно утримувати під час робіт, оскільки їх випадання може спричинити травми або пошкодження деталей.

Під час проведення операцій з відновлення хрестовин на ділянці механічної обробки на робочих місцях обов'язково мають бути наочні інструкції з ТБ, доступні для всіх працівників. Устаткування повинно бути оснащено зручними у використанні запобіжними пристроями з прозорого, достатньо міцного матеріалу, які встановлюються між робочим інструментом та обличчям працівника для надійного захисту очей від осколків, стружки та інших дрібних частинок. Такі захисні пристрої повинні бути інтегровані з пусковим механізмом обладнання, блокуючи його роботу у разі їхнього відсутності або неправильного встановлення, що гарантує додатковий рівень безпеки під час виконання операцій.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, ТБ при ремонті карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom полягає у наступному:

1. Підготовка до роботи.

Перед початком роботи необхідно суворо дотримуватися встановленого порядку підготовчих заходів:

Спецодяг і засоби індивідуального захисту.

Надіти спеціальний одяг, привести його в належний порядок.

Манжети рукавів заправити або обв'язати, усі вільні кінці одягу прибрати, щоб виключити їх потрапляння в рухомі механізми.

Використовувати необхідні засоби індивідуального захисту: рукавички, захисні окуляри, каску, маску або інші елементи залежно від характеру робіт.

Отримання наряду та інструктаж.

Отримати відповідний наряд на виконання робіт.

Пройти повний інструктаж з ТБ, ознайомитися з потенційними ризиками та правилами безпечного поводження з обладнанням.

Підготовка робочого місця.

Розкласти інструменти та спеціальні пристосування для зручного доступу.

Перевірити їхню справність і готовність до роботи.

Переконатися в справності верстата або станку, перевірити роботу на холостому ході.

Переконатися у справності освітлювальних приладів і наявності необхідного освітлення робочої зони.

2. Під час виконання робіт.

Дотримання спецодягу ЗІЗ.

Всі працівники повинні носити спецодяг і ЗІЗ протягом усього часу роботи.

Інструмент і пристосування.

Використовувати тільки справні інструменти та пристосування, які перевірені перед початком роботи.

Вимкнення обладнання при необхідності.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі припинення подачі електроенергії, при зміні робочого інструменту, ремонті, очищенні або змащенні верстата необхідно обов'язково відключати його від живлення.

Заборонені дії під час роботи верстата або стенда.

Вимірювати оброблювану деталь під час роботи.

Перевіряти руками чистоту поверхні деталей.

Встановлювати або змінювати різальний інструмент під час роботи.

Чистити та змащувати верстат у робочому стані.

Передавати будь-які предмети через верстат.

Прибирати стружку руками без спеціальних пристосувань.

Взаємозв'язок моделі і механізмів.

При демонтажі та монтажі карданного валу необхідно застосовувати фіксувальні пристосування для запобігання травмування кистей рук рухомими частинами, такими, як фланці.

Розбирання та складання хрестовин проводити на спеціальному стенді, суворо дотримуючись технології. Особливу увагу приділяти зняттю та установці стопорних кілець фіксації осьового переміщення підшипника.

Забезпечення захисту під час механічної обробки.

На робочих місцях мають бути вивішені інструкції з ТБ.

Устаткування повинно бути оснащене прозорими запобіжними пристосуваннями для захисту очей, які блокуються з пусковим пристроєм.

Дотримання правил безпеки під час роботи верстата.

Після виключення верстата забороняється гальмувати частини, які обертаються, руками.

3. Завершення роботи.

Вимкнення устаткування.

Перед виконанням будь-яких завершальних дій устаткування слід відключити від живлення і переконатися у повній зупинці його механізмів.

Прибирання робочого місця.

Очистити робоче місце та верстат від стружки, пилу та інших відходів.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розкласти інструменти та пристосування на відведені місця.

Повідомлення про недоліки.

Інформувати майстра або відповідальну особу про всі виявлені під час роботи несправності та недоліки.

Особиста гігієна та спецодяг.

Зняти спецодяг і здати його у вбиральню або особисту шафу.

Вимити руки, обличчя та, при потребі, інші відкриті ділянки тіла.

Безпечне розташування та експлуатація устаткування.

Устаткування має бути встановлене на міцних фундаментах або основах, ретельно закріплене, заземлене і при необхідності захищене фарбуванням.

Приводні та передавальні механізми повинні розташовуватися в корпусах або бути обладнані запобіжними пристроями.

Особливу увагу приділяти захисту оброблюваних предметів, які виступають за межі габаритів обладнання.

Розташування устаткування, порядок зняття та установки карданного валу, відновлення хрестовин повинні відповідати нормам охорони праці та внутрішнім інструкціям підприємства.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Карданна передача електрофургону Ford E-Transit Custom забезпечує безперервну передачу крутного моменту від двигуна до ведучих коліс при зміні положення підвіски чи кута між агрегатами трансмісії. Її несправність або розбалансування призводить до підвищених вібрацій, шумів, нерівномірного обертання валів і передчасного зносу хрестовини, що викликає необхідність її відновлення або заміни. Тому метою та завданням роботи ставилось:

1. Навести загальні відомості та основні технічні характеристики електрофургону Ford E-Transit Custom.
2. Описати призначення, особливості конструкції, технічне обслуговування карданної передачі електрофургону.
3. Дослідити конструкцію та несправності хрестовини та вибрати її матеріал.
4. Провести огляд способів усунення дефектів хрестовини, методів її відновлення з розробкою відповідного технологічного процесу з призначенням обладнання, ріжучого інструменту та пристосувань.
5. Застосувати SolidWorks Simulation для комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану хрестовини.
6. Описати техніку безпеки при ремонті карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom.

Відповідно до поставленої задачі наведені основні технічні характеристики електрофургону Ford E-Transit Custom, особливості конструкції та функціонування карданної передачі, аналіз її працездатності та надійності та технічне обслуговування. Наведено перелік несправностей хрестовини електрофургону і технологію її заміни з вибором матеріалу. Проведений аналіз і вибір методу відновлення хрестовини карданної передачі.

Для розробленого технологічного процесу напівавтоматичного наплавлення порошковим дротом у вуглекислому газі при зворотній полярності застосовуємо:

- напівавтомат ПДПГ-300;
- перетворювач ПСГ-500;

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- випрямляч, ВСС-300;
- зварювальний струм $I_c = 200 \text{ A}$;
- напруга зварювання $U_c = 25,0 \text{ В}$;
- швидкість зварювання $V_c = 12,0 \text{ мм/с}$;
- робочий тиск газу 170 кПа ;
- витрати CO_2 12 л/хв. ;
- густина струму $I_{ст} = 100 \text{ А/мм}^2$;
- порошковий дріт ПП-5ХВЗГ2СТ;
- діаметр дроту $\varnothing = 1,8 \text{ мм}$;
- виліт дроту із наконечника пальника $h = 15,0 \text{ мм}$;
- твердість наплавленого шару НВ 240.

Після відновлення хрестовини проводили її термічну обробку у муфельній печі СНО СНОП-8.16.5/11 за наступним режимом:

- гартування у маслі при $t = 860,0 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом $2,20 \text{ год.}$;
- низький відпуск на повітрі при $t = 210,0 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом $0,60 \text{ год.}$

Основні механічні характеристики після термообробки хрестовини:

- твердість НВ 320;
- межа міцності на розрив – до 800 Н/мм^2 ;
- межа текучості 640 Н/мм^2 ;
- ударна в'язкість – до 65 Дж/см^2 .

За допомогою SolidWorks Simulation проведене комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану хрестовини карданної передачі з відображенням діаграм напружень von Mises, переміщень URES, деформацій ESTRN і запасу міцності FOS.

Описана техніка безпеки при ремонті карданної передачі електрофургону Ford E-Transit Custom.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Ford Transit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ford_Transit
2. Новий Ford E-Transit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ford.ua/e-transit>
3. Технічні характеристики Ford Transit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ford-vidi.com.ua/ru/avtomobili/transit-2-t/configuration>
4. 2025 Ford E-Transit: Новий погляд на комерційний електротранспорт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://automotive24.com.ua/article/2025-ford-e-transit-novii-pogliad-na-kommerciinii-elektrotransport>
5. Ford E-Transit 2022 — озвучені вартість і характеристики нового електрофургона [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotechnica.com.ua/transport/ford-e-transit-2022-ozvucheny-stoimost-i-kharakteristiki-novogo-elektrofurгона>
6. Технічні характеристики Ford E-Transit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auto.ria.com/uk/car/ford/e-transit/tth>
7. Ford розсекретив технічні характеристики нового E-Transit Custom [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukr.net/news/details/auto/93138664.html>
8. Ford E-Transit Custom [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auto.ria.com/uk/newauto/complete-ford-e-transit-custom-238010.html>
9. Ford e-Transit Custom (2024) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.completevan.ie/van-reviews/ford-e-transit-custom-2024-review>
10. Технічні характеристики Ford Transit Custom [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ford-vidi.com.ua/ua/avtomobili/new-transit-custom/configuration>
11. All-New Ford Transit Custom. Technical specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

https://media.ford.com/content/dam/fordmedia/Europe/documents/productReleases/E-TransitCustom/TransitCustom_specsheet_EU_June2024_EU.pdf

12. All-New, All-Electric E-Transit Custom Van Ready to Electrify Small Business Productivity [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/gb/en/news/2024/05/21/all-new--all-electric-e-transit-custom-van-ready-to-electrify-sm.html>

13. Кардан на Ford Transit Custom [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://automotive.org.ua/ua/catalog/ford-transit-custom/kardan/1>

14. Карданний вал Ford Transit V363 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.avtozapchasti24.lv/zapchasti/kardannyj-val/ford/transit-fu-gon-2013>

15. Кардан Форд Транзит [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dp.kiev.ua/ua/g28294900-kardan-ford-tranzit>

16. Карданні вали на Ford Transit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zapchasti.ria.com/c/kardannyu-val-car/o-ford-transit/?srsltid=AfmBOop6sWGZR9dtG80AYRvAr6PCu2OP2hLUxl3qm_g3q7dUncXHHGHX

17. Сталь конструкційна 20ХГНТР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hotsteel.by/material/stal-konstruktsionnaya-20hgntnr>

18. Сталь 20ХГНТР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auremo.org/materials/stal-20hgntnr.html>

19. 20CrMnTi Gearing Steel: The Robust Heart of Worm Gears & The Role of Cast [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.viiplus.com/20crmnti-gearing-steel>

20. Митко, М. В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Митко М. В., Шиліна О. П., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 99 с. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/Mytko_2022_99.pdf

21. Аналіз існуючих і розробка методу відновлення хрестовин карданів в умовах малих автотранспортних підприємств [Електронний ресурс]. – Режим

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доступу:

https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/АВТОМ_ТРАНСП/ЕРТЗ/2021/АТ_EtR_Hrestovina_0.pdf

22. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Технологія та обладнання для наплавлення" для студентів напряму підготовки 6.050504 "Зварювання" /Укл. В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов. - К.: НТУУ "КПІ" 2013. – 35 с.

23. Наплавлення у середовищі захисних газів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9976418/page:61/>

24. Напівавтоматичне зварювання в захисному газі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://spika.com.ua/ua/a42041-poluavtomatichskaya-svarka.html?srsId=AfmBOopXGjWIp-t9V7fgzj-59IQPm-5hDA15jZJJZFj2krH85L8f>

25. Татарин Б.П. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням». Семестр VII / Б.П. Татарин, В.С. Сенчишин. – Тернопіль.: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. –73 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22492/4/лаб21111.pdf>

26. Пустюльга С. І. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С. І. Пустюльга, В. Р. Самостян, Ю. В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.

27. Геометричне моделювання технічних об'єктів у SolidWorks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/ammo/metod/kmpvm/Лаб%20КМІМ.pdf>

28. SolidWorks Simulation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://commit.name/index.php?MainShowID=105>

29. Техніка безпеки при роботі на ділянці з відновлення карданних валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studbooks.net/2450901/tehnika/tehnika_bezopasnosti_rabote_uchastke_vosstano_vleniyu_kardannyh_valov

30. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.

					КвРМТВА 024361.01.42.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		