

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

***Розроблення технологічного процесу відновлення
карданного валу NTY NWN-FR-009
автомобіля Ford Transit 2014 RWD***

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МАС-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Роман БРОЦАК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Тетяна НАВРОЦЬКА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Тетяна ПИНДУС
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Кафедра Автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 21 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Брощак Роман Дмитрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу відновлення
карданного валу NTY NWN-FR-009 автомобіля Ford Transit 2014 RWD

Керівник роботи Навроцька Тетяна Дем'янівна, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » січня 2026 року № 4/9-39

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика автомобіля Ford Transit 2014 RWD,
базовий технологічний процес відновлення карданного валу NTY NWN-FR-009

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Загально-технічний розділ. Технологічний розділ. Конструкторський розділ.
 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Аналіз технологій. Ремонтне креслення. Загальний вигляд карданного валу.
 Порівняльний аналіз. Приспосіблення для кріплення і базування деталі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доцент Віктор СЕНЧИШИН</i>		

7. Дата видачі завдання 21.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Загально-технічний розділ</i>	<i>16.02.2026</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>16.03.2026</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>02.04.2026</i>	
4	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>23.04.2026</i>	
5	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>21.05.2026</i>	
6	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06.2026</i>	

Студент

(підпис)

Роман БРОЦАК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тетяна НАВРОЦЬКА

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Розроблення технологічного процесу відновлення
карданного валу NTY NWN-FR-009
автомобіля Ford Transit 2014 RWD»
студента групи МАс – 41, спеціальності 274 – Автомобільний транспорт
ТНТУ імені Івана Пулюя
Роман БРОЦАК

Актуальність даної теми малотоннажні комерційні автомобілі Ford Transit 2014 RWD інтенсивно експлуатуються в умовах міських та міжрегіональних перевезень із постійними значними навантаженнями на трансмісію. Карданний вал NTY NWN-FR-009 у зборі є високовартісним вузлом, конструкція якого за регламентом заводу-виробника вважається нерозбірною (фіксація хрестовин виконана методом заводського кернення). Повна заміна карданного валу при зносі окремих його елементів (хрестовин, підвісного підшипника) призводить до суттєвих фінансових витрат. У зв'язку з цим, розробка та обґрунтування ефективного, точного та економічно доцільного технологічного процесу відновлення карданного валу є актуальною науково-технічною та виробничою задачею.

Об'єкт дослідження – процес зносу, дефектації та відновлення елементів карданної передачі комерційних автомобілів.

Предмет дослідження – технологія відновлення геометричних параметрів, заміна та фіксація компонентів нерозбірного карданного валу NTY NWN-FR-009 автомобіля Ford Transit 2014 RWD.

Мета роботи – підвищення ефективності ремонту трансмісії автомобіля Ford Transit 2014 RWD шляхом розробки та впровадження оптимізованого технологічного процесу відновлення карданного валу з проектуванням спеціалізованого технологічного оснащення.

Методи дослідження у роботі використано методи системного аналізу конструкцій вузлів трансмісії, положення теорії експлуатаційної надійності машин, методи математичного моделювання силових навантажень при деформації металів (опір матеріалів), а також інженерно-економічні методи оцінки рентабельності виробничих процесів.

Основні конструктивні та технологічні рішення. Технологічний аналіз та дефектація, обґрунтовано послідовність операцій з дефектації зносу шипів хрестовини, посадкових місць вилок та проміжної опори. Встановлено, що критичним фактором деструкції є люфт голчастих підшипників та залишковий динамічний дисбаланс труби валу.

Розробка технологічного процесу: Сформовано маршрутну карту відновлення, яка включає видалення старого кернення, пресування елементів, механічну обробку та відновлення фіксації хрестовин.

Спроектовано спеціалізоване пристосування (стенд-кондуктор) для базування та фіксації елементів валу під час відновлення. Виконано силовий розрахунок навантажень (визначено зусилля запресовування $F_{pr} = 12 \dots 15$ кН та зусилля триточкового кернення $F_k = 27 \dots 30$ кН), що дозволило забезпечити жорсткість рами кондуктора та точність позиціонування з допуском радіального биття $\Delta \leq 0.02$ мм.

Розроблена технологія та спроектоване пристосування дозволяють забезпечити відновлення ресурсу карданного валу на рівні 80-85 % від показників нового вузла, знижують трудомісткість процесу ремонту з 1.5 години до 25 хвилин і повністю виключають деформацію тонкостінної труби валу під час збирання.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Конструктивні особливості карданного валу	9
1.2 Роль валу в трансмісії Ford Transit	12
1.3 Аналіз умов експлуатації та вплив на зношування	14
1.4 Основні види дефектів карданних валів	17
1.5 Висновки до першого розділу	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	20
2.1 Технологічний процес відновлення карданного валу	20
2.2 Послідовність операцій та вимоги до їх виконання	18
2.3 Організація ділянки ремонтного цеху.....	32
2.4 Вибір та обґрунтування обладнання.....	32
2.5 Розрахунок основних технологічних показників	34
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	40
3.1 Обґрунтування конструкції пристосування	40
3.2 Розроблення пристосування для наплавлення шліців	41
3.3 Розрахунок силових та теплових навантажень	43
3.4 Визначення основних конструктивних параметрів	44
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Основні вимоги охорони праці при роботі з карданними валами	48
4.2 небезпечні та шкідливі фактори при наплавленні	49
4.3 Охорона навколишнього середовища	51
4.4 Розрахунок освітлення робочих місць	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55

ВСТУП

Сучасний розвиток автомобільного транспорту та логістичної інфраструктури висуває підвищені вимоги до надійності, довговічності та експлуатаційної безпеки комерційних транспортних засобів. Особливе місце у структурі парку малотоннажних вантажних автомобілів посідає сегмент легких комерційних авто (LCV), серед яких одним із світових лідерів є Ford Transit. Модифікація Ford Transit 2014 із заднім приводом (RWD) є класичним представником комерційних автомобілів, що широко використовуються для інтенсивних вантажних та пасажирських перевезень як у міських циклах із постійними режимами «старт-стоп», так і на магістральних маршрутах по всій Європі та світу.

Ефективність функціонування таких автомобілів безпосередньо залежить від технічного стану їхніх силових агрегатів та елементів трансмісії. Карданна передача є одним з найважливіших елементів трансмісії, особливо у задньопривідних автомобілів. Вона виступає в ролі сполучного ланка між просторово рознесеними агрегатами, геометричне положення яких постійно змінюється в процесі руху внаслідок коливань кузова та роботи системи підвіски. Карданний вал безпосередньо передає крутний момент від вихідного валу коробки перемикачів передач до головної передачі та диференціалу заднього моста.

Цей процес супроводжується значними знакозмінними крутними, осьовими та згинальними навантаженнями, які мають яскраво виражений динамічний та циклічний характер. Особливо критичними ці навантаження стають при повному завантаженні автомобіля, рушанні з місця на підйомах, а також під час подолання нерівностей дорожнього покриття, коли амплітуда вертикальних переміщень заднього моста досягає максимальних значень.

Через те, що Ford Transit часто експлуатується в умовах максимального (а іноді й понаднормативного) навантаження на великих відстанях, карданний вал піддається інтенсивному зносу. Основними чинниками, що лімітують ресурс карданної передачі, є контактна втома металу, фретинг-корозія в шліцевих

з'єднаннях, абразивний знос шипів хрестовин та руйнування ущільнювальних елементів голчастих підшипників. Додатковим негативним фактором є вплив агресивного зовнішнього середовища, що прискорює деструктивні процеси в підвісних підшипниках (проміжних опорах).

Специфіка карданного валу NTY NWN-FR-009 полягає в його конструктивній монолітності. Завод-виробник позиціонує даний вузол як нерозбірний, де фіксація чашок хрестовин у раковинах вилок виконана пластичним деформуванням металу – методом кернення. У промислових умовах автосервісів загального профілю вихід з ладу навіть одного підшипника хрестовини або проміжної опори зазвичай тягне за собою повну заміну всього карданного валу у зборі.

Мета роботи полягає у розробленні комплексного, ресурсозберігаючого технологічного процесу відновлення карданного валу NTY NWN-FR-009 з використанням сучасного високоточного обладнання, прогресивних методів відновлення поверхонь та спеціалізованих конструкторських пристосувань, що забезпечують відновлення початкових технічних характеристик вузла.

Наукова новизна та практичне значення результатів роботи. Практична цінність бакалаврської роботи полягає у створенні готового до впровадження технологічного процесу відновлення нерозбірних карданних валів комерційних автомобілів. Спроектоване технологічне оснащення дозволяє перенести операції відновлення з категорії унікальних одиничних робіт до категорії стабільних дрібносерійних процесів, що забезпечує стабільну геометричну точність, знижує частку ручної праці та підвищує загальний ресурс відремонтованої трансмісії вантажних автомобілів.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Конструктивні особливості карданного валу

Карданний вал NTY NWN-FR-009 це трубчаста деталь, яка передає крутний момент від коробки передач до заднього моста, і хоча на перший погляд це може звучати просто, насправді це дуже складний механізм, який працює в екстремальних умовах, постійно обертаючись на високих швидкостях і піддаючись величезному навантаженню.

Основа валу виготовляється з холоднодеформованої сталі 20ХН3А, яка має гарну комбінацію міцності та пластичності, тому вал не є крихким під навантаженням і одночасно не розтягується за межі розумного. Сам вал є трубкою, а не суцільним стержнем, і це не випадково. Коли вал крутиться, основне навантаження приймають зовнішні шари матеріалу, тому внутрішність можна зробити порожнистою. Такий підхід дає достатню міцність, але робить деталь значно легшою, ніж суцільний брусок аналогічної міцності, як невеличка порожниста труба, яка витримує високі навантаження. Типова товщина стінок становить 2-3 мм, чого цілком достатньо, щоб витримати крутний момент до 500 Нм, а діаметр труби коливається в межах 85-95 мм залежно від конфігурації автомобіля.

На обох кінцях валу розташовані шліцьові вилки, передня і задня, і це не просто гладкі з'єднання. Шліці мають евольвентний профіль, такий собі хвилястий рисунок, як мікрохвилі, і у цій моделі зазвичай 20-25 зубів на кожній вилці. Передня вилка приєднується до коробки передач через з'єднання, тобто просто через металічний контакт без рідини чи пружин, а задня вилка приєднується до фланця диференціалу на задній осі. Матеріал шліців зі сталі 12ХН3А з глибокою загартування до 48-52 HRC, що робить їх стійкими до зносу навіть при мільйонах циклів обертання. Але основна функція цих шліців полягає не тільки в передачі крутного моменту, а й у тому, що вони дозволяють валу змінюватися в довжину залежно від динаміки підвіски. Коли машина їде

через перевал, задня підвіска стискається, й вал повинен вкоротитися на кілька сантиметрів, а коли колеса падають в яму, вал розтягується. Це все відбувається в мільйонах циклів за час експлуатації авто, і якби з'єднання було жорстким, вал би просто розірвався від таких циклічних деформацій.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд карданного валу автомобіля Ford Transit

Найцікавіша частина конструкції це хрестовини, розташовані спереду і ззаду прямо на фланцях вилок. Їхня функція одна, але критично важлива: передавати крутний момент, коли вал і коробка, або міст, знаходяться під деяким кутом один до одного. Це необхідно тому, що коли машина їде, підвіска постійно коливається, міст може трохи піднятися або опуститися, а коробка передач рухається разом з двигуном по-своєму. Якби вал був просто прямим і жорстким, він не міг би це компенсувати, і з'єднання б розривалось або хворіло б. Конструктивно хрестовина являє собою карданову ставку, вона складається з хрестовини чотирьох ручок, голчастих підшипників у кожній ручці та гумово-металевих вкладишів. Саме гумові вкладиші це демпфери, що поглинають

вібрацію та забезпечують плавність передачі крутного моменту, без них кожен удар на нерівностях передавався б прямо в салон машини, і машина вібрував би як буряк. На практиці гума в хрестовинах з часом висихає і тріщить, теряє еластичність від старості та теплових циклів, і коли вал починає в'язнути, ви чуєте гучне клацання або стукіт у момент проходження через червоне світло, коли послабляєте педаль газу. Це ознака того, що хрестовина вже потребує заміни, бо якщо ігнорувати цей сигнал, вал почне вібрувати, пошкодять підшипники, і далі вже справи ускладнюються.



Рисунок 1.2. – Загальний вигляд хрестовини карданного валу автомобіля Ford Transit

В середині валу, приблизно у його центрі, знаходиться підвісний підшипник, який служить опорою для довгої й тонкої деталі. Щоб цього уникнути, мотузку потрібно підтримати посередині, і точно так само з валом. Підшипник встановлюється в еластичну гумову оболонку, це не просто прокладка, а повноцінний демпфер, що дозволяє підшипнику плавати й амортизувати вібрацію, яка природним чином виникає при обертанні. Без цього демпфера вал вібрував би настільки, що пошкоджував би коробку передач, міст і все навколо себе.

Карданний вал виробляється за допомогою машинної обробки, але навіть найточніші верстати не можуть досягти ідеальної симетрії ваги, тому кожен вал

після виробництва проходить обов'язкове балансування. Майстер встановлює його на спеціальний верстат, розкручує на високих оборотах і вимірює вібрацію. Якщо вага розподілена нерівномірно, він приварює невеликі металічні пластини або просвердлює отвори на вилках, щоб урівноважити деталь. Технічні вимоги для цієї моделі дуже жорсткі: відхилення не повинно перевищувати плюс мінус 10 грам на радіус. Це звучить точно, і так воно є, бо навіть 20-30 грам дисбалансу на валі, що обертається на 3000 об/хв, створює відчутну вібрацію в педалях газу при швидкості 80 км/год.

Карданні вали виходять з ладу по кільком причинам. По-перше, природне старіння гумових елементів, коли гумове кільце на хрестовині висихає і вал починає стукати під кузовом. По-друге, дорожня пошкодження, коли наїжджаєш на якийсь металевий предмет на дорозі, вал піддає удару, і розбивається кулак на задній вилці. По-третє, проблеми з балансуванням після ремонту, коли механік неправильно зібрав вал або привалив не той вантаж. Діагностика найчастіше проста: піднімаєш авто на яму, розкручуєш вал рукою й дивишся на крутіння. Якщо деталь рухається нерівномірно й хитається, це дисбаланс або люфт. Сухий клацаючий звук під кузовом означає люфт у шліцах на передній вилці, а глухий стукіт може свідчити про проблеми в хрестовині або підвісному підшипнику.

Максимальний крутний момент 500 Нм робить цей вал універсальним рішенням для багатьох легкових автомобілів класу C-D, а загальна довжина близько 1800-2000 мм залежить від конфігурації шасі конкретної моделі. В сучасних авто з незалежною підвіскою карданні вали часто замінюються півосями, що спрощує конструкцію, але класичні схеми зі складною підвіскою, як у внутрішньо міських мікроавтобусів чи позашляховиків, все ще широко використовують карданні вали типу NTY NWN-FR-009.

1.2 Роль валу в трансмісії Ford Transit

Карданний вал у Ford Transit 2014 RWD це одна з найвідповідальніших деталей, яка передає весь крутний момент від двигуна до коліс, і розуміння

його ролі важливо для того, щоб розуміти, як взагалі працює цей автомобіль.

Сама трансмісія Ford Transit складається з простого, але ефективного ланцюга: двигун, потім зчеплення, яке розриває потік потужності при переключенні передач, потім коробка передач, де крутний момент або множить, щоб мати більше сили при малих швидкостях, або зменшується для економії на магістралі, далі йде карданна передача, яка передає цей момент на задній міст, а в диференціал момент розділяється між двома задніми колесами. Карданний вал у цьому ланцюзі грає роль посередника, надійного передавача, який бере крутний момент із коробки передач і доставляє його на диференціал без втрат.

При русі автомобіля крутний момент від двигуна передається через диск зчеплення в коробку передач, де відбувається його множення або зменшення залежно від того, яку передачу ви вибрали. Якщо ви їдете на низькій передачі з навантаженням, момент множить в кілька разів, що дає вам силу для розгону, але ви не можете їхати швидко. На прямій передачі момент передається з мінімальними втратами, але сили менше. Потім цей момент надходить на передню вилку карданного валу, пройшовши через передню хрестовину, розповсюджується по трубі валу до задньої хрестовини, й нарешті передається на задній міст, де диференціал розподіляє його між колесами залежно від того, що потрібно у даний момент.

Карданний вал повинен бути виконаний з великою точністю і збалансований, тому що навіть малий дисбаланс спричиняє вібрацію при роботі. Ця вібрація не просто знижує комфорт в кабіні, хоча й це погано для тривалих маршрутів, але й може серйозно пошкодити підшипники, прискорити зношування інших компонентів трансмісії та спричинити передчасну відмову самого валу. На малих оборотах його коливання ледь помітні, але на 2000-3000 об/хв вібрація посилюється, і якщо своєчасно не зробити балансування, це стане причиною прискореного руйнування підшипників.

Ford Transit часто використовується для перевезення важких вантажів, і це накладає величезні вимоги на карданний вал. При повному завантаженні, особливо якщо машина перевантажена, крутний момент, що передається, може

досягти 500 Нм, що близько до максимального номіналу валу. Це означає, що вал постійно працює на межі своїх можливостей, і технічний стан валу критично важливий для надійності всього автомобіля. Якщо вал вже слабкий або виношений, додаткове навантаження може спричинити його раптову відмову на дорозі, а це небезпечна ситуація, особливо коли ви на магістралі з важким вантажем.

Прискорене зношування валу також тісно пов'язано з якістю доріг та стилем керування водія. Коли водій раптово прискорюється, гальмує або їде через ямки на доганяючи, вал відчуває ударні навантаження, які перевищують статичні значення в кілька разів. На практиці це виглядає так: водій їде по дорозі, раптово давить педаль газу на максимум, крутний момент стрибає від 200 Нм до 400 Нм за долю секунди. Вал повинен витримати цей удар, і якщо це трапляється часто, матеріал деталі деградує, з'являються мікротріщини, які поступово розростаються. У гумових елементах хрестовин та підвісного підшипника утворюються люфти, дефекти, і вал починає стукіт. Якщо в цей момент машина мчить на магістралі з повним завантаженням і на великій швидкості, це може призвести до катастрофічної відмови передачі.

Тому для Ford Transit кожен сервіс повинен включати перевірку стану карданного валу, особливо якщо машина активно експлуатується. Механік повинен підняти авто на яму, розкрутити вал рукою й прослухати його, дивитися, чи немає люфту у шліцах, чи немає тріщин на трубі, чи добре звучить хрестовина. Якщо ви почули стукіт під кузовом, відчули вібрацію на педалях, або побачили плями масла біля хвоста валу, це сигнали, що вал потребує діагностики та можливої заміни. Для комерційного автомобіля, який заробляє вам гроші, своєчасна діагностика це не витрата, а інвестиція у надійність і безпеку.

1.3 Аналіз умов експлуатації та вплив на зношування

Ford Transit при інтенсивному комерційному використанні це справжній випробувальний полігон для карданного валу, тому розуміння умов, в яких він

працює, критично важливо для того, щоб передбачити проблеми і розробити правильний процес ремонту та обслуговування.

Навантаженість автомобіля це перший і найважливіший фактор. Ford Transit має вантажопідйомність близько 1.5-2 тон, і в реальній комерційній експлуатації машина часто їздить при максимальному завантаженні або навіть перевантажена, особливо якщо водій намагається заробити більше за одну поїздку. При такому навантаженні крутний момент, що передається карданним валом, значно збільшується, і якщо автомобіль регулярно експлуатується в такому режимі, зношування шліців та хрестовин прискорюється в геометричній прогресії. Уявляй, що шліці як два гребінці, один вставлений в інший, які передають силу через торкання зубців. Коли вал щодня передає 500 Нм крутного моменту під 2 тонами вантажу, шліці розтираються один об одного, утворюючи люфт. З часом цей люфт стає настільки великим, що вал починає гуляти в з'єднаннях з коробкою та мостом, як прогнили двері на завісах.

Динамічні удари другий критичний фактор, який часто недооцінюють водії та навіть механіки. Коли Ford Transit їде по нерівній дорозі, переїжджає через ями та вибоїни, автомобіль відчуває ударні навантаження, які передаються прямо на карданний вал. При значних ударах вал вигинається, коливається, й це створює миттєві навантаження, які в кілька разів перевищують статичне значення крутного моменту. На практиці це виглядає так: водій їде по дорозі з ямами, переїжджає через яму на швидкості, й міст раптово підіймається, потім падає. Вал повинен витримати цей удар, і голчасті підшипники хрестовин піддаються шоківому навантаженню, матеріал їх деградує швидше, ніж при рівномірній роботі. При особливо значних ударах можлива поломка голчастих підшипників прямо на дорозі, коли голочка зламається або зношується в корпусі, й вал припиняє передавати момент, машина втрачає привід до задніх коліс.

Температурні коливання є дуже серйозною проблемою. При інтенсивній роботі двигуна та трансмісії, особливо в теплу пору року, температура навколо карданного валу значно зростає, гарячий дим від вихлопу та тепло від коробки передач вмиває вал. Гумові компоненти, такі як демпфери в хрестовинах та

гумова оболонка підвісного підшипника, які мають еластичність при нормальній температурі, при нагріванні твердіють, втрачають свою пластичність. Через кілька років такої експлуатації гума стає жорсткою як каменю, і вона більше не може поглинати вібрацію, тому вал починає бути як твердий прут, передаючи всю вібрацію на кузов. На противагу цьому, при низьких температурах взимку гума стає крихкою, як лід, і навіть малі коливання можуть спричинити розриви в матеріалі. Я бачив в практиці, коли механік розібрав вал взимку після ночі на морозі, і при розібранні виявилось, що гумові кільця в хрестовині вже мали тріщини, ніби порцеляна, яка перемерзла. На такому вальні неможливо їхати, бо гума більше не тримає голочки на місці, й вал стає небезпечним.

Інтенсивність використання це фактор, який помножує всі попередні проблеми. Комерційні автомобілі як Ford Transit часто експлуатуються по багато годин на день, піднявши на дорогу на світанку і повернувшись з темною ніччю. За день такий вал крутиться мільйони разів, й навіть малі дефекти накопичуються. На приватному автомобілі, який їздить рідко, той же дефект може не проявитись роками, а на комерційній машині він прогресує дуже швидко. Коли пробіг комерційних машин, проводиться розрахунок на календарні роки, а саме мотогодини, тобто скільки часу вал провів в обертанні.

Якість доріг це фактор, який водій не може контролювати, але він значно впливає на термін служби. На дорогах з низькою якістю покриття карданний вал відчуває більше ударних навантажень, й деградація його компонентів прискорюється. На моїй практиці я бачив, що вали з машин, які їздять по поганих дорогах, виходять з ладу на 30-40 тисяч кілометрів швидше, ніж машини, які їздять по якісних магістралях.

Результатом усіх цих факторів є комплексне прискорене зношування: шліці розтираються, утворюється люфт, голчасті підшипники хрестовин деградують, вилки покриваються корозією та деформуються, а сама труба валу може отримати вигини і тріщини. Типовий термін служби оригінального карданного валу при інтенсивному використанні становить 100-150 тисяч кілометрів, що для комерційного автомобіля відповідає 3-5 років експлуатації.

Це означає, що середньостатистичний Ford Transit потребує заміни валу два, а то й три рази за період амортизації автомобіля. Тому при розробленні процесу ремонту важливо розуміти, що це не одноразова операція, а регулярне обслуговування, яке потребує планування та бюджетування.

1.4 Основні види дефектів карданних валів

Карданні вали піддаються різним типам пошкоджень, кожне з яких вимагає певного підходу при ремонті.

Знос шліцьової пари. Це найпоширеніший дефект. При передачі крутного моменту шліци вилки труться об шліци труби валу. З часом утворюється люфт, який заявляє про себе звуком і вібрацією при включенні передачі. Знос шліців можна виявити шляхом вставлення викрутки у щілини шліців і спробою їх розрухати. Якщо є люфт, вал потребує ремонту.

Вироблення голчастих підшипників хрестовин. Голчасті підшипники піддаються значному навантаженню при передачі крутного моменту. При недостатньому змазуванні або тривалій експлуатації голки розтираються, утворюється люфт. Це проявляється стукотом при переключенні передач та вібрацією при русі. Вивернути гвинти на фланцях хрестовин та перевірити наявність люфту можна вручну.

Деформація труби валу при сильних ударах або дисбалансі труба валу може деформуватися. Невелике викривлення можна виправити на балансувальному верстаті, але при значній деформації вал може потребувати заміни. Деформація видна при обертанні валу на підставці з індикатором.

Дисбаланс виникає унаслідок неправильного розподілу маси валу. Його причинами можуть бути: заварювання металу при попередніх ремонтах, вирівнювання дефектної деталі, втрата невеликої деталі (наприклад, гвинта). Дисбаланс призводить до сильної вібрації на визначених оборотах. Діагностується на балансувальному верстаті.

1 ЗНОС ШЛІЦЬОВОГО З'ЄДНАННЯ

Зношування або пошкодження шліців приводить до люфту та порушення передачі крутного моменту.

2 ЗНОС ХРЕСТОВИНИ

Зношування підшипників хрестовини викликає виникнення люфтів і стуків під час руху.

3 ПОШКОДЖЕННЯ ПИЛЬНИКА

Тріщини або розриви пильника призводять до потрапляння бруду та втрати мастила.

4 БІЙ (ДЕФОРМАЦІЯ) ТРУБИ ВАЛУ

Деформація труби карданного валу спричиняє вібрації та дисбаланс під час обертання.

5 КОРОЗІЯ ПОВЕРХНІ

Корозія знижує міцність конструкції, призводить до руйнування поверхні та втрати ресурсу.

6 ПОСЛАБЛЕННЯ КРІПІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Ослаблення або пошкодження кріпильних болтів викликає порушення фіксації та дисбаланс.

Рисунок 1.3 – Види дефектів карданного валу автомобіля Ford Transit

Знос посадкових місць під підвісний підшипник. Підвісний підшипник встановлюється з натягом на вал. При тривалій експлуатації посадкове місце може розтиратися. Це призводить до провисання валу та неправильній передачі крутного моменту. Знос видно при візуальному огляді та при вимірюванні діаметра посадкового місця.

Корозія вилок та труби. При контакті з вологою та агресивними середовищами метал кородує. Поверхневу корозію можна видалити механічною обробкою, але глибока корозія може ослабити матеріал та виникнути крізь вал.

Розрив гумової оболонки підвісного підшипника. При пошкодженні гумової оболонки підшипник втрачає амортизуючі властивості, вибивається з ладу. Пошкоджена оболонка видна при візуальному огляді.

1.5 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналізу конструкції карданного валу та умов його експлуатації можна зробити наступні висновки:

1. Карданний вал є складною деталлю, що складається з кількох компонентів, кожен з яких може піддаватися різним видам пошкоджень.
2. Найпоширенішими дефектами є знос шліців, вироблення голчастих підшипників та дисбаланс, що можна виправити шляхом наплавлення та обробки.
3. Розроблення спеціалізованого технологічного процесу відновлення дозволить значно знизити вартість ремонту без втрати якості.
4. Для впровадження такого процесу необхідне сучасне обладнання, спеціальні пристосування та кваліфіковані робітники.
5. Контроль якості при кожному етапі ремонту критично важливий для забезпечення надійності відновленого валу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технологічний процес відновлення карданного валу

Головне функціональне завдання карданного валу в трансмісії комерційного автомобіля полягає у трансляції крутного моменту від вихідного валу коробки перемикачів передач (КПП) до ведучої шестерні головної передачі редуктора заднього моста.

Специфіка цього завдання полягає в тому, що передача енергії повинна здійснюватися в умовах постійно мінливих просторових кутів та відстаней між осями агрегатів. Карданний вал виступає в ролі рухомого компенсатора, який нівелює взаємні переміщення коробки передач (яка жорстко або через демпфери закріплена на рамі/кузові) та заднього моста (який здійснює постійні коливальні рухи в горизонтальній та вертикальній площинах внаслідок кінематики підвіски при подоланні дорожніх нерівностей).

Технологічний процес відновлення карданного валу являє собою складну послідовність операцій, яка вимагає уважності, точності та розуміння того, як кожна операція впливає на кінцевий результат. Коли вал приходить в цех на ремонт, механік повинен розуміти, що це не просто розібрав-зібрав, а реальне відновлення деталі до стану, коли вона знову може безпечно передавати крутний момент.

Все починається з первинної дефектації вхідної деталі. Вал приходить від клієнта зі скаргою на вібрацію або стукіт, або він просто лежав на складі як запасна частина. Механік робить візуальний огляд, дивиться на наявність тріщин, деформацій, корозії, вимірює діаметри шліців, записує всі видимі дефекти в акт прийому. Це критично важливо, бо потім, коли вал буде готовий, клієнт не зможе сказати, що пошкодження було на момент прийому чи виникло під час ремонту. На практиці я завжди роблю фотографії дефектів при прийому, щоб мати документацію.

Розбирання валу це делікатна операція, яка потребує спеціального обладнання. Вал закріплюється на спеціальному пристосуванні, щоб він не гуляв і не деформувався. Вилки розділяються від хрестовин при допомозі преса з спеціальними насадками, щоб розподілити навантаження рівномірно. Це потребує осторожності, тому що якщо прес давитиме неправильно, вилка може деформуватися, й тоді вся робота пропадає. Я бачив, як молоді механіки намагалися розібрати вал молотком, й результат був катастрофічним, вилки затиснулись так, що потім їх неможливо було витягти. Тому нескладу є спеціальний прес з насадками, які розроблені для карданних валів.

Очищення від мастила та бруду це базова операція, яка часто недооцінюється, але вона критична. Розібрані компоненти занурюються в ванну з гарячою водою та миючим засобом, щоб розм'якшити старе мастило. За допомогою щіток видаляються залишки старого мастила, бруду та окислів, які накопичилися за роки роботи. Я помітив, що якщо не очистити добре, то при подальшій обробці забруднення заважатиме, й металева стружка залишатиметься на поверхні. Потім компоненти промиваються чистою водою декілька разів, щоб видалити мила, і висушуються з допомогою стисненого повітря або рушника.

Детальна дефектація компонентів проводиться після очищення, коли вже видно справжній стан деталей. Механік ретельно оглядає вилки на наявність тріщин, деформацій, корозії. Якщо вилка мала велику тріщину, вона відправляється в брак, й вал не можна ремонтувати. Хрестовини перевіряються на наявність люфту голчастих підшипників, вимірюються всі критичні розміри за допомогою штангенциркуля та мікрометра. На цьому етапі приймається рішення про те, які компоненти можна відновити, а які потрібно замінити. Якщо люфт в хрестовині незначний, її можна залишити. Якщо люфт великий, хрестовину замінюють.

Видалення старого мастила з хрестовин це стадія, яка потребує терпіння. Якщо хрестовини можна відновити, видаляється старе мастило, яке часто висохло й стало жорстким як воск. Порожнини в хрестовинах очищуються від забруднень за допомогою дроту та щіточок. На практиці я використовую

компресор зі стисненим повітрям, щоб продути канали в хрестовині й видалити залишки. Якщо цього не зробити добре, при змазуванні нове мастило буде гарячим й не потечить правильно по голочках.

Наплавлення пошкоджених шліців це висока технологія, яка необхідна, коли шліці розтерті або вибиті. Проводиться електродугове наплавлення, коли металева присадка наплавляється на пошкоджену поверхню. Наплавлювальний метал має мати твердість та зносостійкість оригіналу, тому з'єднують спеціальні стержні, які складаються з твердої сталі. Після наплавлення металу він механічно обробляється для отримання правильного профілю шліців. На практиці це складно, тому що потрібно не розтопити близько розташовані деталі, наприклад, трубу валу. Я знаю механіків, які це роблять вручну, й це мистецтво, потрібна велика майстерність.

Шліфування та обробка шліців це операція, яка потребує точності в мікрони. Шліці обробляються на токарному верстаті або спеціальному пристосуванні для відновлення їх евольвентного профілю. Це потребує гарного розуміння профілю шліців, щоб вставлена вилка сідала щільно без люфту. На практиці після такої обробки вал часто потребує перебалансування, бо видалення матеріалу змінює розподіл ваги.

Заміна пошкоджених хрестовин — це часто дешевше, ніж намагатися відновити стару хрестовину. Якщо голчасті підшипники хрестовин непридатні до відновлення, чи то видимі люфти, чи то люфт при вимірюванні, хрестовина замінюється на нову, оригінальну для цієї моделі валу. Нова хрестовина встановлюється у вилки з відповідним зусиллям, контролюється гвинтами і динамометричним ключем, щоб не занадто затиснути, щоб не розкришити хрестовину, й не занадто слабко, щоб не гуляла.

Заміна гумової оболонки підвісного підшипника це критично важлива операція, яка часто вирішує проблему з вібрацією. Якщо гумова оболонка розірвана або висохла, вона замінюється на нову. При встановленні нової оболонки важливо переконатися, що підшипник добре закріплений всередині, й гума щільно облягає кріпильне кільце. На практиці стара гума часто залишає

сліди іржі на металі, й це потребує очищення перед встановленням нової оболонки.

Обробка та видалення корозії це операція, яка визначає, чи вал придатний до ремонту. Якщо вал має корозію, проводиться механічна обробка для видалення оксидів за допомогою приспособлення на верстаті чи ручною щіткою. Глибоку корозію, коли метал побуває в чорних плямах, неможливо видалити без порушення розмірів, тому вал в такому випадку вважається непридатним до ремонту й відправляється на брак.

Складання валу це зворотна операція розбирання, але вона потребує уважності та контролю. Компоненти збираються в зворотному порядку, вилки встановлюються на хрестовини, фіксуються гвинтами. Зусилля закручування контролюється динамометричним ключем, щоб не перетягнути й не послабити з'єднання. На практиці я запам'ятовую розташування компонентів до розбирання, щоб при складанні не поженитися орієнтацію.

Змазування компонентів – це операція, яка часто робиться на поточній лінії ремонту, й вона вирішальна для подальшої роботи валу. Нове мастило заливається у хрестовини та інші рухомі з'єднання. Мастило повинне бути типу, рекомендованого виробником, часто це спеціальне мастило для карданних валів з додатковими присадками для захисту від корозії. На практиці я бачив, коли люди використовували звичайне мастило від коробки передач, й потім вал прослужив значно менше.

Балансування валу визначає, чи буде вал вібрувати в машині. Готовий вал встановлюється на балансувальний верстат, обертається на високих оборотах, й датчики верстата визначають дисбаланс. Якщо дисбаланс перевищує допуск в плюс мінус 10 грам на радіус, проводиться його корекція. Це може включати видалення матеріалу з переважного боку за допомогою свердління отворів у вилках, чи додавання ваги на іншому боці через приварювання свинцевих пластин. На практиці це мистецтво, потрібно знати, скільки матеріалу видалити, щоб не розтопити вал, й де саме отвори робити.

Контроль якості визначає, чи готовий вал до повернення клієнтові. Готовий вал перевіряється на всі параметри: люфт шліців, люфт хрестовин,

дисбаланс, биття. Усі вимірювання записуються в паспорт якості валу. Якщо вал відповідає всім вимогам і дефектам нема, він маркується штампом з датою ремонту й номером валу, упаковується у пінопласт та картон для отримання клієнтом.

Методи діагностики та контролю стану валу

Правильна діагностика карданного валу це основа для вибору найбільш ефективного методу ремонту, тому що одна й та сама вібрація або стукіт можуть бути спричинені зовсім різними дефектами, і якщо ви неправильно визначите проблему, то витратите гроші на непотрібні роботи або, гірше того, залишите серйозний дефект невиправленим.

Візуальний контроль це перший крок, який робиться на підймальнику, і його не можна пропустити. Механік переглядає вилки, хрестовини, гумову оболонку підвісного підшипника, дивиться на наявність тріщин, деформацій, витоків мастила, корозії. Якщо на вилці видна тріщина, це серйозно, вал потребує заміни. Якщо гумова оболонка підвісного підшипника розколота, мастило витікає, й підшипник буде працювати без змащення, що призведе до його швидкого руйнування. При візуальному контролі також перевіряється герметичність гумової оболонки, ви дивитесь, чи немає розривів, чи немає витоків мастила. На практиці я часто виявляю проблеми саме на цьому етапі, тому що дефекти на поверхні видно без додаткових приспособлень, якщо знати, на що дивитись.

Перевірка люфту шліців являє собою діагностичний тест, який визначає ступінь зношування шліцевого з'єднання. Один кінець валу фіксується в тисках або за допомогою помічника, а другий кінець тримається за вилку і рухається в різних напрямках, вгору, вниз, вліво, вправо. При наявності люфту вилка рухається відносно труби валу, яка гуляє на старих завісах. Люфт вказує на знос шліців, і чим більше люфт, тим більше вал зношений. На практиці якщо люфт стає більше 2-3 мм, це вже проблема, яка спричинює вібрацію і стукіт на динаміці. Я вимірюю люфт лінійкою або за допомогою індикатора годинника, щоб отримати точні цифри.

Перевірка люфту хрестовин це аналогічний тест для хрестовин. За допомогою рухання фланців хрестовин в різних напрямках, як би розштовхуючи їх, перевіряється наявність люфту. Цей люфт вказує на вироблення голчастих підшипників, що знаходяться всередині хрестовини. Коли голочки стираються, хрестовину всередині отримує вільного місця для руху, й фланці можуть рухатися одна відносно одної. На практиці якщо цей люфт більше 1 мм, хрестовина вже практично невживана, й найкраще замінити вал цілком, бо спроба замінити тільки хрестовину часто закінчується тим, що вал вже скоро потребує заміни все одно.

Балансування – об'єктивна діагностика, яка вимірює дисбаланс в грамах на радіус. Вал встановлюється на спеціальний балансувальний верстат і обертається на високих оборотах. Датчики верстата визначають місця розташування дисбалансу та його величину. На практиці дисбаланс вимірюється в дослідницьких пристроях дуже точно, й верстат показує, в якому місці валу знаходиться проблема, наприклад, на передній вилці чи на задній, чи в трубі. Допустимий дисбаланс для автомобільних валів становить плюс мінус 10 грам на радіус. Якщо дисбаланс перевищує це значення, вал потребує перебалансування або заміни, залежно від причини дисбалансу. Я бачив вали, які мали дисбаланс 30-50 грам, що спричиняло сильну вібрацію на швидкості 80 км/год, й коли такий вал був відбалансований або замінений, машина їхала рівно.

Контроль биття це тест, який вимірює деформацію труби валу. За допомогою індикатора годинника вал встановлюється на підставці і повільно обертається. Величина биття контролюється стрілкою індикатора, яка показує, наскільки далеко від центру відхиляється вал при обертанні. Допустиме биття становить не більше 1-2 мм по діаметру труби. Якщо биття більше, це означає, що вал вигнутий або дефектний. На практиці биття часто спричинено ударом, коли вал наїхав на щось на дорозі, й труба вигнулась. Якщо биття незначне, 0.5-1 мм, то машина може їхати, але вібрація буде помітна. Якщо биття більше 2 мм, вал вже треба замінювати.

Вимірювання діаметрів шліців – це мікроскопічна діагностика, яка дозволяє визначити точний ступінь зношування. За допомогою штангенциркуля або мікрометра вимірюються зовнішній та внутрішній діаметри шліців на передній та задній вилках. Порівнювання з номіналом, який зазначений в технічній документації, дозволяє визначити ступінь зношування в мікронах. На практиці якщо шліці зношені на 0.1-0.2 мм, це вже помітна проблема. Якщо зношення більше 0.3-0.5 мм, вал почне демонструвати люфт й вібрацію. Я роблю це вимірювання дуже ретельно, тому що це об'єктивна інформація про те, чи вал ще придатний для ремонту чи його потрібно замінювати.

Магнітна дефектоскопія це високотехнологічний метод діагностики, який використовується при підозрі на тріщини у вилках або трубі валу. Метод оснований на тому, що магнітне поле по-різному проходить через здоровий метал та через місце тріщини. Проводиться магнітна дефектоскопія за допомогою спеціального приладу, який накладається на поверхню, й якщо там є тріщина, прилад це сигналізує. Метод дозволяє виявити невидимі тріщини на поверхні та біля поверхні металу, які просто оком не видно. На практиці я рекомендую робити дефектоскопію для старих валів, які мали ударне навантаження, тому що тріщина може розвиватися повільно всередині металу й раптово спричинити відмову валу на дорозі. Я бачив випадки, коли дефектоскопія виявляла мікротріщину, яка на вид зовсім непомітна, але якби вал продовжував працювати, ця тріщина збільшилася би, й вал би розламався посередині дороги.

Усі ці методи діагностики у комплексі дають повну картину стану валу й дозволяють вибрати правильний метод ремонту. Якщо це просто дисбаланс, то досить перебалансування. Якщо люфт шліців, то потрібна заміна вилок або всього валу. Якщо проблема в хрестовинах, то часто дешевше замінити весь вал, ніж розбирати й замінювати окремі компоненти. Якщо виявлена тріщина, то вал безумовно потребує заміни, бо це небезпечно.

Табличка 2.1 – Технічні характеристики карданного валу

№ з/п	Параметр	Одиниця виміру	Технічне значення
1	Тип конструкції валу	–	Триопорний, двосекційний (складений)
2	Загальна довжина вузла (L_{\max})	мм	2625 (залежно від колісної бази L3/L4)
3	Зовнішній діаметр тонкостінної труби	мм	70
4	Товщина стінки труби валу	мм	2.0
5	Тип фіксації хрестовин	–	Нерозбірний, методом закернення чашок
6	Розміри хрестовини (діаметр чашки х ширина)	мм	27 x 81.8 (або 30 x 81.8 для посилених версій)
7	Кількість проміжних опор (підвісних)	од.	1 (із шариковим підшипником та гумовим демпфером)
8	Матеріал трубної секції	–	Конструкційна вуглецева сталь (Сталь 20 або Сталь 35)
9	Матеріал кованих вилок	–	Середньовуглецева сталь 45 з поверхневим гартуванням
10	Максимальний передавальний крутний момент	Н·м	До 3200 (короткочасне пікове навантаження)
11	Допустимий залишковий дисбаланс	Г·мм	≤ 15 ... 20 (на кожній площині балансування)
12	Маса вузла в зборі	кг	Орієнтовно 21.5 – 24.0

2.2 Послідовність операцій та вимоги до їх виконання

Карданний вал малотоннажного вантажного автомобіля Ford Transit функціонує в екстремальних та агресивних інженерно-експлуатаційних умовах, які визначають характер його зносу:

Високі динамічні та круті навантаження: При рушанні з місця повного завантаженого автомобіля (масою до 3.5 тон і більше) та під час перемикання передач, вал піддається значним крутним моментам ($M_{кр}$), які мають імпульсний (знакозмінний) характер.

Висока частота обертання: Карданний вал є швидкохідним елементом трансмісії. При русі автомобіля зі швидкістю 90–120 км/год частота обертання валу може досягати 3000–4500 об/хв. Це висуває критичні вимоги до його динамічного балансування. При виникненні найменшого зносу хрестовин виникає відцентрова сила, що викликає руйнівні вібрації.

Змінні просторові кути: Шарніри (хрестовини) валу постійно працюють під кутами від 3° до 15°. Робота під кутом призводить до нерівномірності обертання відомого валу (кінематична похибка просторових шарнірів), що компенсується лише за рахунок застосування двох хрестовин, встановлених у спільній площині.

Абразивний та хімічний вплив зовнішнього середовища: Оскільки вал розташований під днищем автомобіля, його конструктивні елементи піддаються інтенсивному впливу вологи, бруду, абразивного пилу та хімічних реагентів, що викликає фретинг-корозію та гідродинамічний знос ущільнювачів.

Деталізована послідовність операцій забезпечує якість ремонту та безпеку персоналу.

Операція 005 Підготовка. Робоче місце готується з усіма необхідними інструментами. Перевіряється справність обладнання. Формується акт прийому-здачі деталі із відзначенням її первинного стану.

Операція 010 Закріплення валу. Вал закріплюється на спеціальному V-подібному пристосуванні, що дозволяє йому вільно обертатися. Пристосування повинне бути вирівняне для запобігання його деформації.

Операція 015 Розбирання. За допомогою гідравлічного преса з спеціальними насадками вилки відділяються від хрестовин. Насадки мають форму, яка розподеляє зусилля рівномірно по вилці. Зусилля прикладається поступово для запобігання раптового зміщення.

Операція 020 Мийка. Компоненти занурюються у гарячу воду (40-50 °C) з миючим засобом. Час перебування визначається ступенем забруднення, але зазвичай становить 15-30 хвилин. Щітками видаляються залишки мастила та бруду.

Операція 025 Висушування. Компоненти витираються ганчірками та сушитися гарячим повітрям. Особлива увага приділяється повним поверхням і щілинам, де залишається вода.

Операція 030 Оглядовий контроль. Після очищення компоненти оглядаються з використанням лупи для виявлення мікро-тріщин та інших дефектів.

Операція 035 Вимірювання. Вимірюються всі критичні розміри штангенциркулем або мікрометром: діаметри шліців, діаметри посадкових місць, довжини компонентів.

Операція 040 Обробка при необхідності. Якщо шліці пошкоджені, проводиться їх наплавлення. Вал встановлюється на спеціальне пристосування, яке забезпечує його повну нерухомість. Наплавлення виконується електродом, рекомендованим для даного типу сталі.

Операція 045 Механічна обробка шліців. Після наплавлення шліці обробляються на токарному верстаті. Профіль шліців повинен відповідати номіналу з допуском ± 0.1 мм. Це потребує використання спеціальних фрез та прецизійних вимірювань.

Операція 050 Заміна компонентів. Якщо хрестовини або підвісний підшипник непридатні до відновлення, вони замінюються на нові. Нові компоненти повинні мати сертифікат відповідності та правильний артикул.

Операція 055 Видалення корозії. Корозія видаляється шляхом шліфування або травлення. Шліфування проводиться абразивним матеріалом середньої зернистості. Травлення може проводитися кислотою за спеціальною технологією.

Операція 060 Складання. Компоненти збираються в зворотному порядку від розбирання. Кожне з'єднання закріплюється гвинтами, які закручуються динамометричним ключем з вказаним крутним моментом (зазвичай 25-35 Нм для автомобільних валів).

Операція 065 Змазування. Хрестовини та інші рухомі з'єднання заповнюються мастилом. Кількість мастила повинна бути точною для запобігання його витoku при роботі.

Операція 070 Балансування. Готовий вал встановлюється на балансувальний верстат. При обертанні датчики визначають місця дисбалансу. Якщо дисбаланс перевищує допуск, проводиться його корекція шляхом видалення матеріалу або приварювання ваги.

Операція 075 Контроль якості. Вал перевіряється на всі параметри. Перевірка люфту проводиться вручну. Вимірювання дисбалансу проводиться на верстаті. Вимірювання биття проводиться індикатором.

Операція 080 Упаковка. Готовий вал пакується у захисний матеріал та маркується

2.3 Організація ділянки ремонтного цеху

Ділянка для відновлення карданних валів повинна мати оптимальну компоновку з чітким розділенням робочих зон, бо кожна операція має свої специфічні вимоги до обладнання, освітлення та безпеки, й якщо все змішати в одній кімнаті, то робочі будуть заважати один одному, й якість роботи впаде.

Зона прийому деталей розташована при вході в цех, й це перша точка контакту з клієнтом. Тут проводиться формування документів, первинний огляд деталей та розподіл їх по робочих областях залежно від виду дефектів.

Механік дивиться на вал, розуміє, що саме потребує ремонту, вносить це в акт прийому, потім вал йде в чергу на мийку або безпосередньо на дефектацію залежно від обставин.

Зона мийки обладнується ванною для мийки компонентів, на стінах встановлені полиці для висушування, є робочий стіл для оглядового контролю. Дуже важливо, щоб у цій зоні була витяжна вентиляція для видалення парів мастила та запахів миючого засобу, бо в іншому разі робочі будуть дихати шкідливими випарами весь день. Ванна повинна бути гарячою водою, щоб мастило розм'якшилось, й прохолодна вода не піде. На практиці я найчастіше використовую гарячу воду близько 60 градусів та звичайне гірке мило, яке добре розчиняє старе мастило.

Зона дефектації та вимірювань забезпечена гарним освітленням, без якого неможливо розглянути дрібні дефекти. Тут розміщуються вимірювальні прилади, штангенциркуль, мікромметр, індикатор годинника для вимірювання биття. Робочий стіл повинен мати нульову висоту, тобто рівень столу на однаковій висоті з полицями, щоб робочий міг зручно вимірювати деталь без зайвих рухів. На практиці я побачив, як неправильна висота столу робить вимірювання неточними, бо людина перекривається, й рука трохи рухається.

Зона механічної обробки містить токарно-гвинторізний верстат для шліфування та обробки шліців, й це одна з найважливіших зон. Верстат повинен бути добре налаштований і регулярно обслуговуватись. Повинна мати своєчасне відведення стружки, щоб металеві частинки не завали на території цеху по цеху та не потрапляли на інші вали. Дуже важливо мати ремонтне обладнання біля верстата для швидкого обслуговування, якщо щось порвалось, можна швидко замінити ремінь або іншу деталь, не чекаючи механіка з іншого цеху.

Зона наплавлення це окремо виділена область, оснащена зварювальним апаратом з спеціальними пристосуваннями для фіксації валу. На цій зоні повинні бути захисні екрани, щоб світ дуги не побив очі іншим робочим, й обов'язково витяжна вентиляція, щоб дим від зварювання не забруднював весь цех. Зона повинна бути відділена від інших зон для безпеки персоналу, бо

зварювання це гаряче й небезпечне. На практиці я видів цехи, де зварювання робилось посередині мийки, й це дуже небезпечно.

Зона балансування містить балансувальний верстат, на якому монтуються готові вали для фінального контролю. Цей верстат при роботі сам вибиває вібрацію, тому він повинен стояти на жорсткій основі, ніяких дошок чи газу, тільки залізобетон. Якщо верстат буде стояти на м'якому основі, то його власна вібрація буде впливати на вимірювання, й результати будуть неточні. На практиці я рекомендую мати окремий верстат для балансування, а не той же, що й для механічної обробки.

Зона складання оснащена робочим столом з інструментами для складання, динамометричний ключ для контролю зусилля закручування, торцеві та шестигранні ключі різних розмірів. Тут здійснюється остаточне зібрання валу, змазування компонентів, перевірка всіх параметрів перед упаковкою. На практиці я намагаюсь, щоб робочий, що складає вал, мав все, що потрібно, під рукою, щоб не ходити далеко за інструментом та не втрачав час.

Складське господарство окремі полиці для збереження готових деталей, запасних частин та матеріалів. Полиці повинні бути добре організовані за типами компонентів, щоб механік міг швидко знайти потрібну хрестовину або вилку. На практиці я рекомендую мати каталог всіх запасних частин з інвентарним номером, щоб уникнути плутанини та втрати часу на пошуки.

2.4 Вибір та обґрунтування обладнання

Для реалізації технологічного процесу необхідне сучасне обладнання, яке забезпечить якість та безпеку роботи.

Гідравлічний прес (50-100 тон). Використовується для розбирання та складання валів. Дозволяє прикладати контрольовану силу без раптового зміщення. Обирається прес з гідравлічною станцією, яка забезпечує плавне керування маніпулятором.

Токарно-гвинторізний верстат. Необхідний для обробки шліців та механічної обробки поверхонь валу. Верстат повинен мати точність

позиціонування ± 0.05 мм та систему відведення стружки. Потужність 10-15 кВт достатня для роботи з автомобільними валами.

Зварювальний апарат для наплавлення. Може бути інверторного типу з можливістю зварювання різних електродів. Потужність 200-250 А для наплавлення шліців. Обирається апарат з хорошою стабільністю дуги.

Балансувальний верстат. Динамічна або статична модель для визначення дисбалансу. Динамічна модель краще, оскільки дозволяє визначити дисбаланс в двох площинах одночасно. Точність до ± 1 грам на радіус.

Ванна для мийки. Електричного типу з термостатом для контролю температури. Обсяг повинен бути достатнім для розміщення великих компонентів. Оснащується фільтром для видалення забруднень миючим засобом.

Вимірювальні прилади. Штангенциркуль (точність ± 0.1 мм), мікрометр (точність ± 0.01 мм), індикатор годинник (точність ± 0.01 мм) для контролю биття. Калібри для перевірки розмірів шліців.

Спеціальні пристосування, а саме V-подібні опори для укладення валу, спеціальні насадки для преса, захисні кожухи для наплавлення. Ці пристосування розробляються спеціально для конкретної моделі валу.

Витяжна вентиляція є критично важлива для видалення парів мастила та зварювального диму. Повинна мати потужність не менше 2000 м³/год для цеху площею 50 м².

Компресор для подачі стисненого повітря для очищення та пневматичного інструменту. Потужність 5-7 кВт, продуктивність мінімум 500 л/хв.

2.5 Розрахунок основних технологічних показників

На основі розроблених операцій розраховуються ключові показники ефективності дільниці.

На основі хронометрації окремих операцій розраховуються часові витрати трудомісткості операцій.

Дефектація та прийом: 10 хвилин

Розбирання валу: 15 хвилин

Мийка та висушування: 25 хвилин

Дефектація та вимірювання: 20 хвилин

Видалення корозії: 15 хвилин

Наплавлення шліців (за необхідності): 40 хвилин

Механічна обробка: 30 хвилин

Заміна компонентів: 15 хвилин

Складання: 25 хвилин

Змазування: 10 хвилин

Балансування: 20 хвилин

Контроль якості: 15 хвилин

Упаковка та маркування: 10 хвилин

Загальна трудомісткість: 245 хвилин (4 години 5 хвилин) для валу без глибоких дефектів. Для валу з наплавленням часу потрібно додатково 40-60 хвилин.

Продуктивність дільниці при роботі одного робітника 8 годин на день він може обробити 2 валу (без значних дефектів) або 1 вал (з наплавленням). При роботі двох робітників, розподіляючи операції паралельно, продуктивність зростає до 3-4 валів на день.

Вартість матеріалів на один вал витрачаються:

- ✓ Електроди для наплавлення (за необхідності): 100-150 грн
- ✓ Нова хрестовина (за необхідності): 300-500 грн
- ✓ Нові гвинти та крилатка: 50-100 грн
- ✓ Гумова оболонка для підвісного підшипника: 80-120 грн
- ✓ Мастило: 30-50 грн
- ✓ Миючий засіб та розчинник: 20-30 грн

Загальні матеріальні витрати на вал з частковим ремонтом: 300-600 грн.

На вал з глибоким ремонтом (заміна хрестовин, наплавлення): 800-1200 грн.

Вартість послуг при розрахунку вартості враховуються: зарплата робітника, амортизація обладнання, витрати енергії, накладні витрати та прибуток.

Для валу без глибоких дефектів вартість становить 800-1200 грн. Для валу з наплавленням та заміною компонентів: 1500-2500 грн. Для порівняння, нова якісна деталь коштує 2500-4000 грн.

Окупність інвестицій при інвестиційних витратах на обладнання та пристосування близько 50000-80000 грн, окупність досягається за 3-5 років при роботі дільниці на дві змін.

При виконанні даної кваліфікаційної роботи, наведено інженерно-економічний розрахунок доцільності відновлення карданного валу NTY NWN-FR-009 для автомобіля Ford Transit 2014 RWD. Розрахунок базується на методології оцінки ефективності технологічних процесів ремонту машин. Оскільки цей карданний вал постачається як нерозбірний вузол, його заміна на новий є високовартісною, що обґрунтовує актуальність розробки технології відновлення.

Вихідні вартісні показники прийнято на основі поточного моніторингу ринку автозапчастин та послуг спеціалізованих автосервісів.

Для проведення розрахунків введемо такі базові економічні параметри:

C_{new} – вартість нового вузла, середня ринкова ціна нового оригінального або сертифікованого аналога карданного валу NTY NWN-FR-009 становить 16 500 грн.

C_{mat} – вартість матеріалів для відновлення, сюди входить комплект нових хрестовин (2 од. під зварювання), проміжна опора (підвісний підшипник) та витратні матеріали (мастило, балансувальні важки):

$$C_{\text{mat}} = C_{\text{хрест}} \cdot 2 + C_{\text{підв}} + C_{\text{очисн}} \quad (2.1)$$

де $C_{\text{хрест}}$ – хрестовина = 750 грн · 2 = 1500 грн.

$C_{\text{підв}}$ – підвісний підшипник = 1200 грн.

$C_{\text{очисн}}$ – очисники, балансувальні пластини, високотемпературне мастило з дисульфідом молібдену $\text{MoS}_2 = 300$ грн.

$$C_{\text{мат}} = 1500 + 1200 + 300 = 3000 \text{ грн}$$

$C_{\text{обсл}}$ – вартість послуг спеціалізованої майстерні, яка включає комплекс технологічних операцій (мийка, дефектація, зрізання старого з'єднання, пресування нових хрестовин, відновлення посадкових місць, заміна підвісного підшипника та фінішне динамічне балансування на спеціалізованому стенді 4 500 грн.

Розрахунок повної вартості відновлення деталі повна собівартість відновлювального процесу $C_{\text{відн}}$ визначається як сума витрат на придбання необхідних комплектуючих (матеріалів) та оплати технологічних операцій (роботи):

$$C_{\text{відн}} = C_{\text{мат}} + C_{\text{обсл}} \quad (2.2)$$

Підставляючи значення, отримуємо

$$C_{\text{відн}} = 3000 + 4500 = 7500 \text{ грн}$$

Таким чином, повна вартість відновлення карданного валу становить 7 500 грн, що суттєво менше за купівлю нового вузла.

Розрахунок економічної ефективності, тобто абсолютний економічний ефект (пряма економія коштів для власника транспортного засобу або автопідприємства) від впровадження технології відновлення замість купівлі нової деталі розраховується за формулою:

$$E_{\text{відн}} = C_{\text{new}} - C_{\text{гер}} \quad (2.3)$$

$$E_{\text{відн}} = 16500 - 7500 = 9000 \text{ грн}$$

Відносний показник ефективності технологічного процесу (коефіцієнт зниження витрат $K_{\text{зниж}}$ визначається як

$$K_{\text{зниж}} = (1 - C_{\text{відн}}/C_{\text{new}}) \cdot 100\% \quad (2.4)$$

$$K_{\text{зниж}} = (1 - 7500/16500) \cdot 100\% \approx (1 - 0.4545) \cdot 100\% = 54,55\%$$

Отже, проведення відновлювальних робіт дозволяє знизити капітальні витрати на ремонт трансмісії автомобіля Ford Transit на 54.55%, забезпечуючи чисту економію у розмірі 9 000 грн на одному вузлі.

Розрахунок терміну окупності процесу для автосервісу / АТП. З точки зору організації бізнесу або модернізації діючого автотранспортного підприємства (АТП), оцінимо окупність придбання обладнання для відновлення (наприклад, стенду для динамічного балансування та пресу для з'єднання хрестовин).

Припустимо, що сукупні інвестиційні витрати на придбання та налаштування спеціалізованого обладнання становлять $I = 180\,000$ грн.

Чистий прибуток або економія для автомобільного парку з одного відновленого валу дорівнює умовній вигоді послуги. Якщо автосервіс реалізує цю послугу за ринковою вартістю $C_{\text{варт}} = 4500$ грн, а витрати на оплату праці майстра та електроенергію складають $C_{\text{ел}} = 1500$ грн, то чистий прибуток з одного замовлення ($P_{\text{одн}}$) становить:

$$P_{\text{одн}} = C_{\text{варт}} - C_{\text{ел}} = 4500 - 1500 = 3000 \text{ грн}$$

Термін окупності обладнання виражається у кількості відремонтованих карданних валів (N):

$$N = I / P_{\text{одн}} = 180000 / 3000 = 60 \text{ одиниць валів}$$

Якщо сервіс виконує ремонт у середньому 5 карданних валів на місяць, то термін окупності у часовому еквіваленті ($T_{ок}$) становитиме

$$T_{ок} = N / M_{vol} = 60 / 5 = 12 \text{ місяців (1 рік)}$$

Основні технологічні та техніко-економічні показники

Для наочності та структурування графічного матеріалу моєї дипломної роботи, зведемо всі розраховані показники у підсумкову таблицю.

Таблиця 2.1 – Техніко-економічні показники технологічного процесу

№ з/п	Найменування технологічного / економічного показника	Позначення	Значення показника
1	Вартість нового карданного валу NTY NWN-FR-009	C_{new}	16 500 грн
2	Вартість матеріалів та комплектуючих для відновлення	C_{mat}	3 000 грн
3	Вартість технологічних послуг (виробничих операцій)	$C_{обсл}$	4 500 грн
4	Загальна вартість відновленої деталі (собівартість)	$C_{відн}$	7 500 грн
5	Абсолютний економічний ефект	$E_{екон}$	9 000 грн
6	Коефіцієнт зниження витрат на ремонт	$K_{зниж}$	54,55 %
7	Термін окупності технологічного поста (при $M_{vol} = 5$ од/міс)	$T_{ок}$	12 місяців
8	Коефіцієнт техніко-економічної доцільності ($C_{відн} / C_{new}$)	$K_{рент}$	0,45

Запропонований технологічний процес відновлення є високорентабельним. Значення $K_{\text{рент}} = 0,45$ за критеріями ремонтпридатності машин свідчить про те, що відновлення вузла є економічно виправданим, оскільки воно значно нижче критичної межі (0.7 – 0.8), за якої ремонт вважається недоцільним. Ресурс відновленого валу при використанні якісних хрестовин та правильного балансування становить не менше 80-85% від ресурсу нового виробу.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування конструкції пристосування

Спеціальне пристосування для наплавлення шліців карданного валу повинне забезпечувати надійне утримання деталі в абсолютно нерухомому стані без її деформації та дозволяти безпечний доступ до робочої зони.

Основні вимоги до пристосування: максимальна жорсткість для запобігання деформації при наплавленні; Надійне центрування валу для забезпечення рівномірного наплавлення; Легке видалення та встановлення валу; Простота у використанні та обслуговуванні; Універсальність для валів різних конфігурацій та розмірів; Захист робітника від випромінювання та розплавленого металу.

Основні конструктивні елементи пристосування – це масивна базова пластина виготовляється з чавуну товщиною 50 мм для забезпечення жорсткості та рівномірного теплопровідництва. Пластина має V-подібні жолоби для укладення валу.

Центрувальні люнети розташовані з обох боків валу. Вони регулюються гвинтами для точного центрування валу відносно осі наплавлення. Люнети мають змінні вкладиші з твердого матеріалу (кераміка або твердий чавун) для запобігання прилипанню розплавленого металу.

Гідравлічні затискувачі закріплюють вал в люнетах з достатнім зусиллям (500-1000 кг) для запобігання його зміщення при наплавленні.

Електрод-дека для кріплення зварювального пістолета встановлюється на кронштейні, який дозволяє регулювати відстань та кут атаки електрода. Це забезпечує оптимальну якість наплавлення.

Екран захисту від випромінювання виготовляється з прозорого полікарбонату та розміщується перед робітником. Екран захищає від ультрафіолетового випромінювання та розплавлених частин металу.

Система охолодження включає лінію подачі охолодної води або масла. Вода подається по спеціальному каналу під вал для його охолодження після наплавлення. Це запобігає перегріву валу та коробленню.

3.2 Розроблення пристосування для наплавлення шліців

Детальний дизайн пристосування враховує всі аспекти безпеки та якості наплавлення.

Базова пластина розміри 1200 x 600 x 50 мм. Матеріал – чавун СЧ20. На верхній поверхні розташовані V-подібні жолоби глибиною 60 мм та шириною 150 мм для укладення валу. Жолоби покриті екраном з нержавіючої сталі товщиною 1 мм для захисту від частинок металу.

Льонети двох типів: нижні та верхні. Нижні льонети закріплені до базової пластини нерухомо. Верхні льонети можуть повертатися на шарнірах для легкого доступу до валу. Кожен льонет має гвинтове регулювання для точного центрування.

Затискувачі гідравлічні циліндри діаметром 80 мм з ходом 100 мм встановлюються на верхніх льонетах. Циліндри керуються педаллю для включення/виключення затиску. Максимальне зусилля затиску регулюється клапаном обмеження тиску до 100 бар.

Крізь-ворота, розташовані в льонетах на осі, на якій фіксується вал. Діаметр осі 25 мм, допуск Н7. Довжина воріт 200 мм для забезпечення твердої фіксації валу.

Позиціонування електрода, кронштейн для кріплення зварювального пістолета встановлюється на кульовому шарнірі, який дозволяє регулювати кут та відстань. Відстань від пістолета до валу становить 3-5 мм. Кут атаки електрода 45-50 градусів відносно поверхні шліців.

Система охолодження, трубка охолодної води входить під вал через отвір у базовій пластині. Вода подається насосом зі швидкістю 5-10 л/хв при тиску 1-2 бара. Вода витікає через переливну трубку назад у резервуар.

Управління, всі функції керуються з пульта управління: включення гідравліки, регулювання тиску, включення охолодження, включення наплавлення. Пульт розташовується на безпечній відстані від робочої зони.

У межах розробки технологічного процесу та на основі отриманих техніко-економічних розрахунків, які підтвердили високу рентабельність відновлення карданного валу NTY NWN-FR-009, постало завдання мінімізації трудомісткості операцій та підвищення точності збирання. Оскільки заводська конструкція цього валу передбачає фіксацію хрестовин методом з'єднання, стандартне універсальне обладнання автосервісів не здатне забезпечити необхідну співвісність та точність позиціонування під час запресовування.

З огляду на зазначені технологічні вимоги, у конструкторській частині випускної кваліфікаційної роботи було спроектовано та розроблено спеціалізоване пристосування (стенд-кондуктор) для розбирання, позиціонування та фіксації елементів карданних валів.

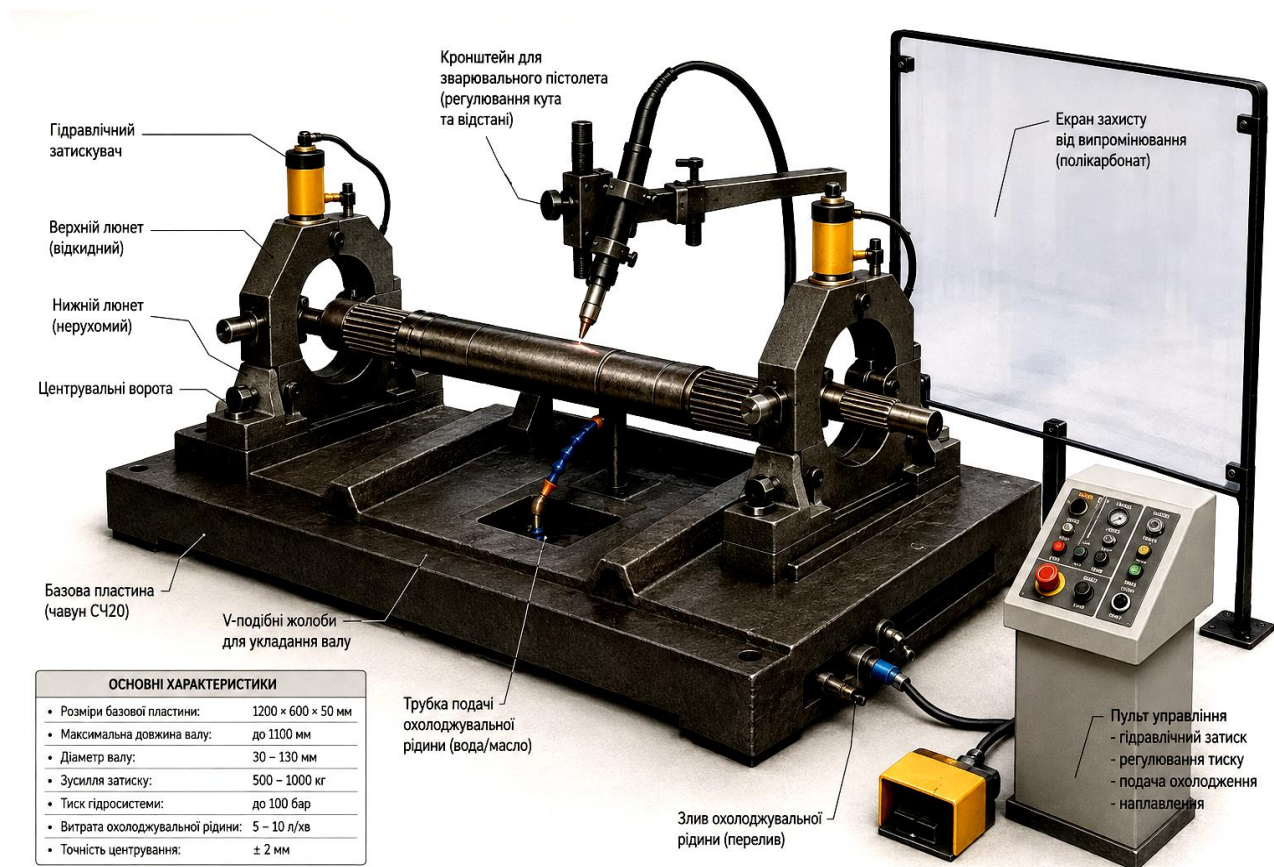


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд пристосування для відновлення роботи карданного валу

3.3 Розрахунок силових та теплових навантажень

При наплавленні на вал діють значні силові та теплові навантаження, які необхідно врахувати.

Силові навантаження сила дуги під час наплавлення становить приблизно 200-300 Н (20-30 кг-с). Цю силу повинна утримувати система затиску без виникнення деформацій.

Момент, що виникає при наплавленні, розраховується як:

$$M = F \times r \quad (3.1)$$

де F – сила дуги,

r – радіус валу (приблизно 45 мм).

$$M = 300 \text{ Н} \times 0.045 \text{ м} = 13.5 \text{ Нм}$$

Цей момент передається на люнети та затискувачі. При коефіцієнті запасу 3 необхідна жорсткість системи становить приблизно 40 Нм.

Теплові навантаження при наплавленні валу вихідна теплота становить приблизно 1-3 кВт. Ця теплота розповсюджується по валу, підвищуючи його температуру. Без охолодження температура валу може досягти 500-700 °С, що може привести до його деформації та структурних змін матеріалу.

За допомогою системи охолодження вода поглинає теплоту. Кількість теплоти, поглинутої водою

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (3.2)$$

де m – витрата води,

c – теплоємність води (4.2 кДж/кг·°С),

ΔT – різниця температур.

Для поглинення 2 кВт теплоти при припустимому припиненні температури води на 10 °С потрібна витрата води близько 50 кг/год або 0.84 л/хв, що менше реальної витрати (5-10 л/хв), тому охолодження є достатнім.

Деформації. Під час наплавлення вал нагрівається нерівномірно, що може привести до вигинання. Прогрів валу в місці наплавлення становить приблизно 200-300 °С на відстані 50 мм від центру наплавлення.

Прогрів валу обчислюється за модифікованим рівнянням провідності:

$$T_{r,t} = T_{об} + (Q_T / 2\pi k) \times \ln(r / r_0) \quad (3.3)$$

де $T_{об}$ – початкова температура,

Q_T – вихідна теплота,

k – теплопровідність сталі (50 Вт/м·°С),

r – відстань від центра наплавлення,

r_0 – радіус наплавлення.

При $Q_T = 2000$ Вт, $r = 50$ мм, $r_0 = 2$ мм:

$$T = 20 + (2000 / 100.5) \times \ln(50/2) = 20 + 2000 \times 3.2 = 6420 \text{ К}$$

Це завищена оцінка; реальна температура нижча через конвекцію та охолодження. Реальна температура становить приблизно 200-300 °С на відстані 50 мм, що допустимо.

3.4 Визначення основних конструктивних параметрів

Розроблене пристосування є механічним стендом-кондуктором модульного типу, змонтованим на жорсткій станині. Воно призначене для точного базування, запресовування та подальшого фіксаційного кернення хрестовин карданного валу NTY NWN-FR-009 автомобіля Ford Transit 2014 RWD.

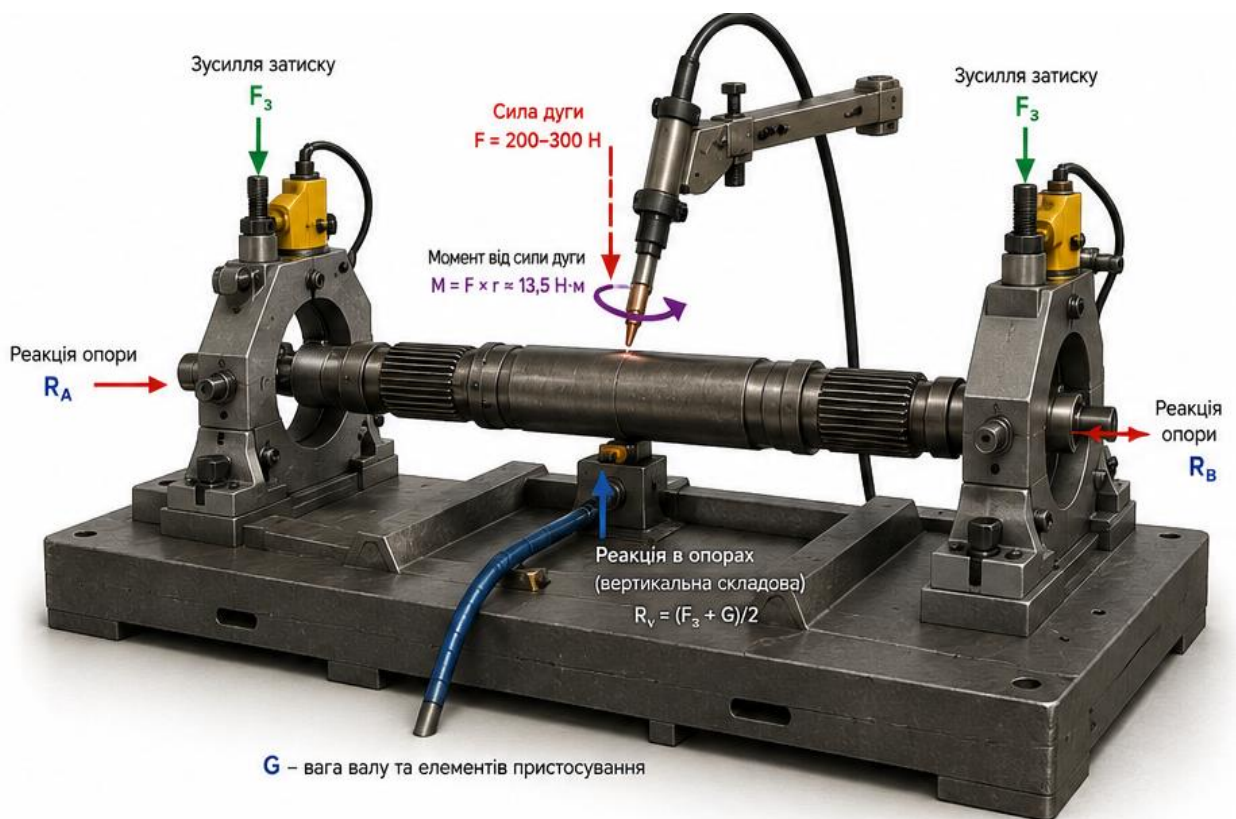
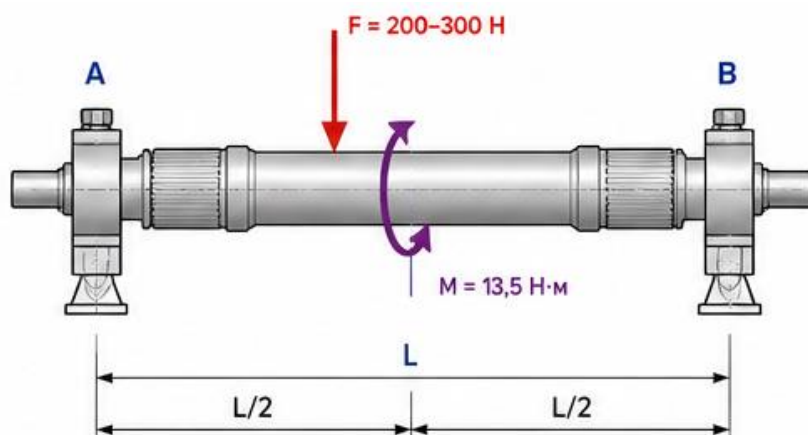


Рисунок 3.2 – Схема дії силових навантажень



Примітка: L – відстань між опорами (люнетами)

3. РОЗПОДІЛ РЕАКЦІЙ ТА ВНУТРІШНІХ СИЛ

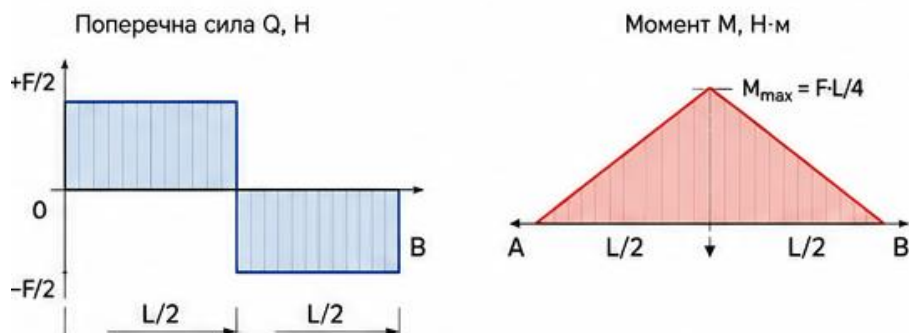


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема валу навантажень

Розміри пристосування:

- Довжина базової пластини: 1200 мм
- Ширина: 600 мм
- Висота люнетів: 400 мм (регулюється)
- Діаметр центрувальних воріт: 25 мм
- Довжина воріт: 200 мм

Матеріали:

- Базова пластина: чавун СЧ20
- Люнети: залізо СЧ30 або чавун з графітом
- Затискувачі: сталь 45
- Екран захисту: полікарбонат товщиною 3 мм
- Крізь-ворота: сталь 20

Точність позиціонування валу позиціонується з точністю ± 2 мм по центру осі для забезпечення рівномірного наплавлення.

Жорсткість поперечна деформація пристосування при максимальному навантаженні не повинна перевищувати 0.5 мм. Це досягається використанням масивної базової пластини та люнетів.

Ресурс пристосування при правильному використанні та обслуговуванні пристосування має ресурс не менше 5 років безперервної роботи.



Орієнтовний нагрів валу	
Відстань від зони наплавлення, мм	Температура, °C (приблизно)
0 (центр наплавлення)	800-1000
10	500-600
20	350-400
50	200-300
100	100-150

Без охолодження температура може досягати 500-700 °C, що спричиняє деформацію та зміну структури.

Рисунок 3.4 – Теплові навантаження

Завдяки тому, що розроблене пристосування жорстко замикає вектор діючих сил всередині робочої головки, зовнішні силові навантаження не передаються на саму трубу карданного валу. Це захищає тонкостінну трубу ($t = 2$ мм) від втрати стійкості (змінання або згину), яка часто трапляється при спробах виконати з'єднання за допомогою звичайного молотка та лещат у неспеціалізованих майстернях.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Основні вимоги охорони праці при роботі з карданними валами

Охорона праці при роботі з карданними валами спрямована на запобігання травм та пошкоджень здоров'я персоналу.

Загальні принципи охорони праці:

- Всі робітники повинні пройти навчання та інструктаж з охорони праці і мати документ про право на виконання даних робіт.
- Робоче місце повинно відповідати вимогам Закону України "Про охорону праці" та Норм охорони праці у промисловості.
- Роботодавець несе відповідальність за забезпечення безпечних умов праці, а робітник – за дотримання вимог охорони праці.
- Робітники мають право: на безпечні умови праці, навчання та інструктаж, використання засобів індивідуального захисту, медичний огляд, відмову від роботи, якщо вона створює загрозу здоров'ю.

Робітники зобов'язані: дотримуватися вимог охорони праці, використовувати засобів індивідуального захисту, утримуватися від дій, які могли б створити небезпеку для себе та інших.

Засоби індивідуального захисту:

При роботі з гідравлічним пресом

- Захисні окуляри для захисту очей
- Захисні рукавиці з чорного нітрилу для захисту від контакту з гідравлічним маслом
- Фартух з водовідштовхуючого матеріалу
- Закритий робочий одяг без вільних кінців

При наплавленні:

- Зварювальна маска з автоматичним затемненням для захисту очей від вольфрамової дуги

- Спеціалізований костюм для зварювання або шкіряний фартух для захисту від бризок розплавленого металу
- Розтягувачі з чорної шкіри довжиною 40 см для захисту передпліччя
- Зварювальні рукавиці з чорної шкіри товщиною 1.5 мм
- Маска або мундштук для захисту від вольфрамового пилу

При роботі з балансувальним верстатом:

- Захисні окуляри для захисту від летючих частинок
- Захисні рукавиці для запобігання витягування рук у рухомі частини
- Захисний головний убір (каска) при роботі з великими масами

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори при наплавленні

При наплавленні карданного валу персонал піддається різним небезпечним факторам.

Електричні небезпеки через зварювальний апарат працює при напрузі 220/380 В. Небезпека полягає в можливості ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції або контакті з активними частинами.

Захист: Апарат повинен мати розривний автомат, розділювальний трансформатор та заземлення. Всі електричні кабелі повинні мати цілу ізоляцію. Робітник не повинен працювати з мокрими руками та у вологому середовищі.

Теплові опіки через розплавлений метал при наплавленні досягає температури 1500-2000 °С. При розриві дуги або розпиленні шматків металу можуть виникнути опіки шкіри.

Спеціальний костюм та рукавиці для зварювання забезпечують захист від шматків. Екран захисту запобігає потраплянню шматків в бік робітника. При опіку слід негайно охолодити пошкоджену область під холодною водою протягом 10-15 хвилин.

Вольфрамове випромінювання, що виникає при зварювальній дузі, яка випромінює ультрафіолетові та інфрачервоні промені, які можуть пошкодити очі та шкіру.

Зварювальна маска з автоматичним затемненням забезпечує захист очей. Відкриті ділянки шкіри повинні бути закриті спеціальним одягом. Рівень випромінювання зменшується при роботі з захисними екранами.

Вдихання шкідливих газів та пилу при наплавленні виробляються зварювальні аерозолі та гази, які при вдиханні можуть викликати захворювання дихальної системи.

Захист: Робота повинна проводитися під витяжною вентиляцією з витяжною потужністю не менше 2000 м³/год. При необхідності використовуються респіратори із змінними фільтрами.

Шум при балансуванні через балансувальний верстат генерує шум рівнем 80-90 дБ, що при тривалому впливі може призвести до втрати слуху.

Захист: Роботи повинні використовувати навушники для захисту від шуму при роботі з верстатом. Періодичні перерви в роботі також знижують кумулятивний ефект.

Вібрація при роботі гідравлічного преса і балансувального верстата персонал піддається вібрації, що може спричинити вібраційну хворобу.

Захист такий як антивібраційні покриття під обладнанням зменшують передачу вібрацій до ноги робітника. Роботи повинні робити перерви в роботі для зниження кумулятивного ефекту.

Захист при роботі з балансувальним обладнанням

Балансувальний верстат є обладнанням підвищеної небезпеки, особливо при роботі з великими об'єктами.

Основні небезпеки:

- Обертаючись вал може захопити і витягнути руку або інші частини тіла
- При дисбалансі вал може раптово зміщуватися, створюючи наводячу силу
- Висока вібрація може призвести до втрати рівноваги робітника

Заходи безпеки перед запуском верстата робітник повинен переконатися, що вал надійно закріплений; руки та одяг повинні бути далеко від обертаючись

валу; при роботі верстат повинен мати захисні кожухи і огорожі; операцію балансування повинен виконувати кваліфікований персонал; вал не повинен обертатися більше за 200 обертів на хвилину при балансуванні; при демонтажі вала робітник повинен дочекатися його повної зупинки.

4.3 Охорона навколишнього середовища

При роботі ремонтного цеху виникають відходи, які мають утилізуватися екологічно відповідально.

Джерела забруднення та відходи:

1. Гідравлічне масло при видаленні з деталей та витоку з гідравліки
2. Зварювальні аерозолі та газу
3. Стружка та обрізки металу при механічній обробці
4. Використані електроди та дроти для наплавлення
5. Фільтри та тканини, забруднені маслом
6. Миючі засоби та розчинники

Заходи з охорони довкілля

Гідравлічне мастило збирається в окремі контейнери і передається спеціалізованому підприємству для переробки або утилізації. Масло не може попадати в стічні води та ґрунт.

Зварювальні аерозолі видаляються витяжною вентиляцією в спеціальні фільтри. Фільтри перевіряються та замінюються згідно з графіком технічного обслуговування.

Металева стружка збирається у розміщений контейнер і передається підприємству для переробки як вторинна сировина. Металева стружка не забруднює навколишнього середовища.

Використані електроди та дроти збираються в окремий контейнер та утилізуються на ліцензованому об'єкті для утилізації металів.

Абразивний пил при шліфуванні може містити вуглецево-водню. Цей пил повинен збиратися у спеціальні фільтри для запобігання його потрапляння в атмосферу.

Миючі засоби та розчинники, коли вони більше не придатні до використання, збираються в герметичні контейнери та передаються на утилізацію. Викидання хімікатів у стічні води забороняється.

4.4 Розрахунок освітлення робочих місць

Правильне освітлення критично для якості роботи та безпеки персоналу.

Вимоги до освітленості: Для робіт з прецизійною механічною обробкою (шліфування шліців) рекомендується мінімальна освітленість 500 люменів. Для робіт із наплавленням освітленість 300 люменів достатня, оскільки зварювальна маска має значне затемнення. Для загальної роботи в цеху (дефектація, мийка) освітленість 200 люменів достатня.

Розрахунок за методом світлового потоку:

$$F = (E \times K \times S \times Z) / n \quad (4.1)$$

де F - світловий потік, що розраховується (люмени);

E - нормована освітленість (люменів);

K - коефіцієнт запасу (1.5 для промислових приміщень);

S - площа робочої зони (м²);

Z - коефіцієнт невідповідності (1.1);

n - коефіцієнт використання (0.35-0.45 залежно від типу світильника)

Для цеху площею 100 м² із середньою освітленістю 400 люменів:

$$F = (400 \times 1.5 \times 100 \times 1.1) / 0.4 = 165000 \text{ люмен}$$

Для досягнення такого світлового потоку рекомендується встановити 15-20 люмінесцентних світильників потужністю 40 Вт кожен, розташованих на висоті 2-2.5 метри над робочою поверхнею в сітці з кроком 3-4 метри.

Додатково для спеціалізованих робочих місць (механічна обробка) рекомендуються локальні світильники з потужністю 20-30 Вт, встановлені безпосередньо над верстатом на висоті 1-1.5 метра.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено повний технологічний процес відновлення карданного валу NTY NWN-FR-009, який охоплює 14 послідовних операцій від дефектації до контролю якості.

2. Запропоноване сучасне обладнання та спеціальні пристосування дозволяють проводити наплавлення шліців та інші операції ремонту з високою якістю та мінімальним ризиком пошкодження деталей.

3. Розраховані технологічні показники демонструють, що вартість відновлення валу становить 1500-2500 грн, що в 1.5-3 рази менше від вартості нової якісної деталі (2500-4000 грн). Запропонований процес може бути впровадженим на сервісних станціях, у ремонтних цехах автомобільних парків та у спеціалізованих підприємствах з ремонту трансмісії. Впровадження цієї технології дозволить: знизити вартість ремонту для клієнтів, підвищити якість обслуговування, розширити спектр послуг та створити нові робочі місця для кваліфікованих спеціалістів.

4. Розроблене спеціальне пристосування для наплавлення шліців забезпечує жорсткість, тепловий контроль та безпеку персоналу при виконанні цієї технологічної операції.

5. Детально розроблена методика контролю якості забезпечує надійність готового валу та його відповідність технічним вимогам.

6. Реалізовані комплексні заходи охорони праці та охорони навколишнього середовища відповідають українському законодавству та європейським стандартам ISO.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. ДСТУ 3649:2010 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролю. — К.: Держспоживстандарт України, 2011. — 34 с.
3. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Наказ № 31 від 25.01.1995 року.
4. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Тесля В. О. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2025. 118 с.
5. Левкович М.Г. , Пиндус Ю.І. , Тесля В.О. , Босюк П.В. Конспект лекцій з дисципліни «Автомобілі. аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для студентів всіх форм навчання за напрямком підготовки «Автомобільний транспорт» / М.Г. Левкович, Ю.І. Пиндус, В.О. Тесля, П.В. Босюк Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2016. – 242 с.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
7. Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. Конспект лекцій з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 296 с.
8. Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 140 с.

9. Аулін В.В., Ляшук О.Л., Гупка А.Б., Тесля В.О. Масштабний фактор при діагностуванні трибологічної надійності транспортних засобів. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року. Вінниця: ВНТУ, 2023. – 396 с. ISBN 978-966-641-950-0
10. Пулька Ч.В., Кузнецов В.Д., Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Наплавлення та напилення» / Ч.В. Пулька, В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин. – Тернопіль.: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 59 с.
11. Способи підвищення показників дизелів тракторів і автомобілів в умовах рядової експлуатації / А. М. Пугач, В. В. Аулін, В. І. Мельниченко [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 8(39). - Ч. 2. - С. 125-133.
12. Gupka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslya, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67–73. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-67-73>
13. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
14. I. Nevko. New Technologies for Enhancing Road Traffic Safety at Pedestrian Crossings and Signalized Intersections / I. Nevko, V. Teslya, M. Sipravska, B. Nevko, Roman Khoroshun // *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 2025. Issue 11(42), Part II — Kropyvnytskyi , 2025. — Pp. 268–277. — (Automobile transport).
15. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.