

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Відновлення та дослідження зносостійкості деталей
передньої підвіски тролейбуса»

Шифр КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ

Галузь знань:	<u>27 Транспорт</u>
Напрямок підготовки (спеціальність):	<u>274 «Автомобільний транспорт»</u>
Рівень вищої освіти:	<u>Перший бакалаврський</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Автомобільний транспорт</u>

Виконав: студент 4-го курсу, група АТ-21-1  Дмитро Товстюк

Керівник к.т.н., доц. каф ТАМ.

 Володимир ГОНЧАР

До захисту допускаю:

зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.



Олександр ДИХА

16 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт».
Спеціалізація «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ



Диха О.В.

20 березня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дмитру Товстюку

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: *Відновлення плунжерних пар паливних насосів високого тиску*

керівник роботи: Гончар Володимир Антонович, к.т.н., доц. каф. ТАМ.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 7.02. 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали переддипломної практики.*

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

- 1) провести літературний огляд із проблеми;
- 2) розробити технологічний процес відновлення деталей переднього моста тролейбуса.
- 3) для полегшення процесу розбирання-збирання шворневого вузла вдосконалити конструкція спеціального пристрою для випресовування шворнів.
- 4) підібрати обладнання для плазмового напівлення або наплавлення цапф поворотного кулака тролейбуса.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 04 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Провести літературний огляд із проблеми	3.05.2024-5	вик
2	Розробити технологічний процес відновлення деталей	15.05.2025	вик
3	Підібрати обладнання для плазмового напilenня або наплавлення цапф поворотного кулака троллейбуса	20.05.2025	вик
4	Оформлення роботи	1.06.2025	вик
5	Захист роботи	18.06.2024	

Студент

Підпис

Ініціали, прізвище

Д.О. Товстюк

Керівник роботи

Підпис

Ініціали, прізвище

В.А. Гончар

РЕФЕРАТ

Студент гр. АТ-21-1 Товстюк Дмитро Олександрович

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему **«Відновлення та дослідження зносостійкості деталей передньої підвіски тролейбуса»** складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 19 найменування, розміщених на 3 сторінках, та одного додатку розміщеного на 10 сторінках. Роботу викладено **на 80 сторінках**, з них 70 сторінок основного тексту, на яких розміщено 6 рисунків і 5 таблиць.

Сучасне машинобудування вирізняється зростаючими вимогами до проектування та виготовлення нових машин, обладнання або інженерних конструкцій. Це зумовлено великою різноманітністю умов їхньої експлуатації, потребою підвищення навантажувальної здатності технічних систем, зростанням швидкостей і прискорень рухомих робочих органів, а також високими вимогами до надійності та якості сучасних транспортних, технологічних, будівельних та інших машин і механізмів.

Метою даної роботи є визначення найбільш раціонального способу відновлення цапф передньої ступиці.

Завдання роботи:

- 1) провести літературний огляд із проблеми;
- 2) розробити технологічний процес відновлення деталей переднього моста тролейбуса.
- 3) для полегшення процесу розбирання-збирання шворневого вузла вдосконалити конструкція спеціального пристрою для випресовування шворнів.
- 4) підібрати обладнання для плазмового напилення або наплавлення цапф поворотного кулака тролейбуса.

Перелік ключових слів: *ступиця, знос, цапфа, відновлення.*

Зміст

ВСТУП	6
1 ОПИС УМОВ РОБОТИ	8
1.1 Призначення, характеристика та загальна будова передньої підвіски тролейбуса ЗиУ-6	8
1.2 Характеристика умов роботи й основних процесів зношування агрегату в цілому та окремих його спряжень	14
1.3 Загальна характеристика методів виготовлення деталей пари тертя	27
1.4 Характеристика мащення деталей пари тертя	30
1.5. Технологія технічного обслуговування шворневого вузла тролейбуса	32
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	35
2.1 Вибір обладнання для відновлення	35
2.2 Вибір обладнання для механічної обробки	41
2.3 Технологічний процес відновлення та підвищення зносостійкості вала	42
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	61
3.1 Призначення, принцип роботи пристрою для випресування шворнів з ручним приводом	61
3.2. Модернізація приводу	65
4 ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	68
4.1 Розрахунок шляхів тертя та швидкостей ковзання	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	77
Додатки	79

КРБАТТАМ 25. 24439.000. ПЗ									
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Відновлення та дослідження зносостійкості деталей передньої підвіски тролейбуса	Літ.	Арк.	Акроніви	
			<i>[Підпис]</i>					5	89
			<i>[Підпис]</i>						
			<i>[Підпис]</i>						
			<i>[Підпис]</i>						
						ХНУ група АТ 21-1			

ВСТУП

Сучасне машинобудування вирізняється зростаючими вимогами до проєктування та виготовлення нових машин, обладнання або інженерних конструкцій. Це зумовлено великою різноманітністю умов їхньої експлуатації, потребою підвищення навантажувальної здатності технічних систем, зростанням швидкостей і прискорень рухомих робочих органів, а також високими вимогами до надійності та якості сучасних транспортних, технологічних, будівельних та інших машин і механізмів.

На сьогодні відомо широке коло ефективних методів і технологічних прийомів, які забезпечують підвищення надійності, довговічності та продуктивності експлуатації технічних засобів різного призначення, створених для потреб людини. Як показує інженерна практика, у переважній більшості випадків (приблизно 80...90%) основною причиною виходу з ладу вузлів і агрегатів є поступова втрата ними функціональної придатності, що переважно викликана зношуванням рухомих спряжень.

У зв'язку з цим науковці, інженери-конструктори, технологи та фахівці з експлуатації приділяють значну увагу проблемам підвищення зносостійкості, довговічності та надійності трибосистем ковзання, що є критично важливими для забезпечення стабільної та безпечної роботи сучасної техніки.

З цією метою розроблена, удосконалена та успішно застосовується на практиці велика група різноманітних методів і способів, спрямованих на підвищення зносостійкості матеріалів і конструкцій.

Одним із пріоритетних напрямків розвитку народного господарства, що має на меті покращення транспортного обслуговування населення, є активне розширення мереж міжміського, міського та приміського транспорту. У зв'язку з цим у 90-х роках минулого століття міський електричний транспорт

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримав подальший динамічний розвиток. Основними його видами традиційно є тролейбус, трамвай та метрополітен.

Тролейбуси, які мають беззаперечні переваги перед іншими видами громадського транспорту — зокрема екологічність, низький рівень шуму та економічність, — здобули всезагальне визнання як з боку служб експлуатації, так і серед широкого кола пасажирів.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ОПИС УМОВ РОБОТИ

1.1 Призначення, характеристика та загальна будова передньої підвіски тролейбуса ЗиУ-6.

Підвіска тролейбуса виконує функцію забезпечення пружного зв'язку рами або кузова з мостами та колесами, водночас пом'якшуючи удари, що сприймаються ними, а також зменшуючи поштовхи й вібрації, які виникають під час руху по нерівностях дорожнього покриття.

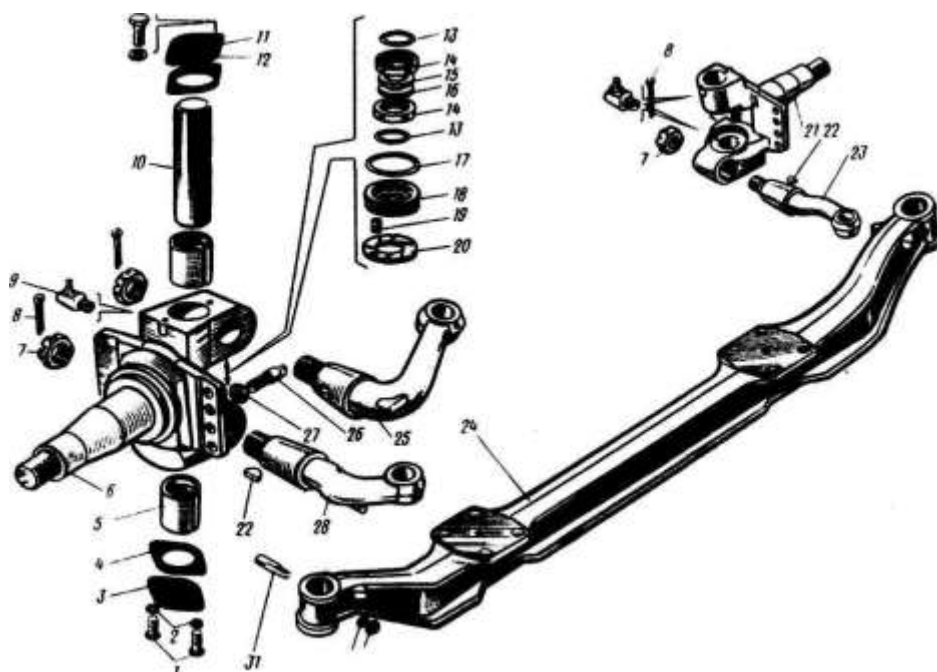


Рис. 1.1. Передня вісь і поворотні кулаки.

1 – болт; 2,30 – пружинні шайби; 3 – кришка кулака (нижня); 4 – прокладка кришки; 5 – шкворня втулка; 6 – поворотної кулак передньої осі (лівий); 7,27,29 – гайки; 8 – розвідний шплінт; 9 – маслянка; 10 – шкворінь; 11 – клапан запобіжний; 12 – кришка поворотного кулака (верхня); 13 – кільце ущільнююче; 14 – обойма сальника; 15 – шайба кулака; 16 – регулювальна шайба; 17 – півкільце сальника; 18 – кільце опорного підшипника; 19 – штифт; 20 – шайба опорного підшипника; 21 – кулак поворотний (правий); 22 – сегментна шпонка; 23 – важіль поворотного кулака до тяги рульової трапеції (правий); 24 – балка передньої осі; 25 – важіль поворотного кулака механізму;

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26 – упор поворотного кулака; 28 – важіль поворотного кулака (лівий). [1-2, 12-14]

Пружні властивості підвіски тролейбуса визначаються використанням спеціального пружного елемента. Робота підвіски ґрунтується на перетворенні енергії удару, що виникає під час наїзду колеса на нерівності дорожнього покриття, у переміщення пружного елемента. У результаті цього сила удару, яка передається на кузов, значно зменшується, що, у свою чергу, сприяє підвищенню плавності ходу тролейбуса та комфорту пасажирів.

За характером взаємодії між колесами і кузовом під час руху тролейбуса всі типи підвіски поділяються на залежні та незалежні.

Залежні підвіски створюють жорсткий механічний зв'язок між лівим і правим колесами одного моста. У результаті такого з'єднання переміщення одного з коліс у поперечній площині частково передається іншому, що викликає нахил кузова вбік.

Незалежні підвіски, навпаки, відзначаються відсутністю жорсткого зв'язку між колесами однієї осі. Кожне колесо при цьому підвішене до кузова автономно, окремо від іншого. Внаслідок цього при наїзді лише одного колеса на дорожню нерівність його коливання не передаються іншому, що дозволяє значно зменшити нахил кузова і підвищити загальну стійкість тролейбуса під час руху.

Підвіска тролейбуса складається з таких основних конструктивних елементів: пружного елемента, напрямного пристрою та гасильного елемента.

Як пружні елементи в конструкціях підвіски використовують металеві листові ресори, циліндричні пружини, а також торсіони. Неметалеві пружні елементи забезпечують необхідні пружні властивості підвіски завдяки еластичності гуми, стисненого повітря або спеціальної рідини. Однак вони є менш поширеними порівняно з традиційними металевими елементами. У

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деяких випадках у підвісках застосовують комбіновані пружні елементи, які поєднують у собі як металеві, так і неметалеві компоненти для досягнення кращих експлуатаційних характеристик.

Напрямний пристрій підвіски виконує важливу функцію передачі штовхаючих, гальмівних і бокових зусиль від коліс до рами або кузова тролейбуса. У разі використання пружинної підвіски напрямними елементами слугують спеціальні важелі та штанги підвіски. У ресорній підвісці функцію напрямного пристрою виконує сама листовая ресора, яка передає поздовжні та бокові зусилля, що дозволяє істотно спростити загальну конструкцію підвіски.

Гасильний елемент підвіски призначений для зменшення та ефективного гасіння коливань кузова і коліс у разі наїзду колеса на нерівності або перешкоду. Цей елемент називається амортизатором. У конструкціях тролейбусів найчастіше застосовують рідинні амортизатори. Принцип їхньої дії полягає в перетворенні механічної енергії коливань, що виникають під час руху, на теплову енергію за рахунок гідравлічного тертя, з подальшим її розсіюванням у навколишнє середовище.

Крім того, у залежній підвісці тролейбуса розрізняють дві основні частини: підресорні та непідресорні.

Підресорні частини — це механізми та вузли тролейбуса, які з'єднані з колесами через ресори або інші пружні елементи.

Непідресорні частини — це деталі та вузли, з'єднані з колесами безпосередньо, без пружних елементів. До таких відносяться балки переднього і заднього мостів, важелі, тяги та інші елементи ходової частини.

Передній керований міст забезпечує поворот тролейбуса завдяки роботі поворотних цапф, які шарнірно з'єднані з балкою моста. На керований міст, окрім вертикального навантаження, що виникає внаслідок сили тяжіння тролейбуса, а також поздовжніх і поперечних зусиль від коліс, додатково

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діють сили й моменти, які виникають під час здійснення поворотів та при гальмуванні транспортного засобу.

Передня вісь (рис. 1.1) оснащена поворотними кулачками вальчатого типу з циліндричними шкворнями. В отвори кулачків 6 і 21, призначені для встановлення шкворня 10, напресовані втулки 5 шкворнів, які виконують функцію підшипників ковзання. Від осьового переміщення шкворінь 10 надійно зафіксований спеціальним клином 31, а також гайкою 29 із шайбою 30. Шкворінь встановлюється у вертикальному положенні торцем догори, при цьому на торці передбачений проріз.

Отвори в кулачках, після монтажу шкворня, закриваються кришками 3 і 12 із прокладками 4, які забезпечують захист підшипників від потрапляння бруду, вологи та пилу. Верхня кришка додатково обладнана запобіжним клапаном 11 для виведення надлишкового мастила.

Між нижніми торцями проушини балки 24 і поворотними кулачками встановлені опорні підшипники, які складаються з опорного кільця 18 і шайби 20. Шайба надійно фіксується від провертання за допомогою штифтів 19, встановлених у відповідних розточках кулачків.

Між верхніми торцями проушини балки і кулачками встановлюються регулювальні шайби 15 і 16 товщиною 1,5 мм і 0,25 мм відповідно, за допомогою яких точно регулюється осьовий зазор у шкворневому з'єднанні. Підшипники ковзання, як і опорні підшипники, змащуються через маслянки 9, що забезпечують подачу мастила до трутьових поверхонь.

Верхній важіль 25, а також нижні важелі 23 і 28 жорстко кріпляться в поворотних кулачках за допомогою спеціальних гайок 7, які додатково фіксуються шплінтами 8 для запобігання їх самовільному послабленню під час експлуатації. Важелі надійно утримуються від провертання в кулачках завдяки встановленню сегментних шпонок 22.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кути повороту кулачків конструктивно обмежуються механічними упорами 26, що встановлені у фланцях поворотних кулачків та закріплені відповідними гайками 27. У разі досягнення максимального кута повороту коліс, ці упори впираються в спеціально передбачені бобишки, розташовані на балці осі, що забезпечує обмеження обертання й запобігає перевантаженням механізму.

На ступиці передбачено п'ять шпич, рівномірно розташованих по окружності для рівномірного навантаження. Кінці шпич завершуються конічними опорами, призначеними для точної посадки конічної поверхні обода. Кут конуса становить 28 градусів, що забезпечує при затягуванні гайок 3 з моментом 245...294 Н·м створення достатньої сили тертя. Ця сила необхідна для надійного з'єднання обода зі ступицею і запобігання його провертанню при гальмуванні.

У тілі ступиці, між шпичовими посадочними місцями, розміщено п'ять додаткових отворів. Вони призначені для встановлення болтів 15, які фіксують гальмівний барабан 17. Гайки 16, що закріплюють болти, є самофіксувальними, що виключає їх самовідгвинчування під дією вібрацій і навантажень.

Для зменшення зносу шин, поліпшення курсової стійкості та якості керування тролейбусом, ступиця в зборі з гальмівним барабаном обов'язково піддається динамічному балансуванню. Це дозволяє мінімізувати вібрації при русі на високих швидкостях.

Ступиця обертається на двох конічних роликівих підшипниках 11 і 14. На внутрішній та зовнішній обоймах кожного з підшипників нанесено маркування, яке повинне точно співпадати для забезпечення коректного монтажу. Внутрішня обойма підшипника 14 впирається в упорне кільце 18,

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що забезпечує правильне осьове положення. Підшипник із зовнішнього боку захищений від потрапляння пилу, бруду та вологи за допомогою кришки 9 з ущільнюючою прокладкою 12.

Гальмівні механізми 32, встановлені на передніх колесах тролейбуса, змонтовані на спеціальних супортах, які жорстко кріпляться до фланців поворотних кулаків за допомогою болтів. Рульова трапеція передньої осі включає в себе поперечну тягу 30 та шарові пальці, які своїми конічними хвостовиками щільно вставляються в відповідні конічні отвори важелів і закріплюються міцними гайками зі шплінтами для запобігання їх розкручуванню. Аналогічним чином виконується кріплення повздовжньої рульової тяги 23 до важеля поворотного кулака, а також до тяги сошки рульового механізму, що забезпечує чітке і синхронне управління поворотом коліс.

Поперечний кут нахилу шкворня, а також кут розвалу передніх коліс задаються ще на етапі виготовлення деталей переднього моста, де точність виконання геометрії визначається відносно ресори та кронштейнів амортизатора.

Втулка, що використовується у шкворневому вузлі тролейбуса, виготовляється з латуні марки ЛО90-1, яка має добрі антифрикційні властивості. Сам шкворінь виготовляють із легованої конструкційної сталі марки 18ХГТ, що забезпечує високу міцність і зносостійкість з'єднання при динамічних навантаженнях.

Колесо тролейбуса надійно прикріплюється до маточини, яка встановлена на роликівих підшипниках і змонтована на поворотній цапфі переднього моста. Основними складовими частинами колеса є сталевий диск з ободом і пневматичною шиною, яка забезпечує амортизацію і зчеплення з дорогою.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поворотна цапфа має плавний перехід до фланця, поверхня якого обробляється до високої чистоти для забезпечення точності посадки. Додатково, для підвищення втомної міцності цієї відповідальної деталі, проводиться її поверхнєве гартування методом СВЧ (високочастотного струму). На великій циліндричній шийці цапфи встановлюється внутрішній конічний роликовий підшипник типу 7614, а на меншій шийці маточини переднього колеса — зовнішній конічний підшипник типу 7611. Ці підшипники сприймають як радіальні, так і осьові навантаження, які діють на колесо під час руху. Завдяки такій конструкції, маточина переднього колеса обертається на конічних роликових підшипниках поворотної цапфи з мінімальним тертям і високою надійністю.

Підшипники надійно закріплені на цапфі за допомогою спеціальної гайки із замковим кільцем, а також контргайки з ущільнюючою шайбою, що забезпечує фіксацію та запобігає самовільному послабленню під час роботи.

Ущільнення підшипників з внутрішнього боку забезпечується саморухомим сальником, який розташований на внутрішній стороні маточини і створює герметичний бар'єр для запобігання потраплянню пилу, вологи та забруднень.

Для додаткового захисту підшипників із зовнішньої сторони використовується кришка, яка встановлюється з ущільнюючою прокладкою на зовнішньому торці маточини колеса. Така конструкція забезпечує необхідну герметичність вузла та сприяє довговічній і безперебійній роботі підшипникового з'єднання. [3-5, 15-19]

1.2 Характеристика умов роботи й основних процесів зношування агрегату в цілому та окремих його спряжень.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Деформація передньої осі тролейбуса (прогин, кручення та інші види) зазвичай виникає внаслідок необережного або неправильного переїзду дорожніх перешкод. У результаті таких деформацій відбувається порушення правильного встановлення передніх коліс, що призводить до нерівномірного або підвищеного зношування шин і ускладнює керування тролейбусом, знижуючи його стабільність на дорозі.

Прогнуту передню вісь вирівнюють спеціальним методом правлення із застосуванням гідравлічного преса, що дозволяє повернути її до проектної форми.

У шкворнях поворотних цапф, а також у підшипниках передніх коліс, внаслідок тривалого зношування виникає надмірний люфт. Це погіршує керованість транспортного засобу, викликає нерівномірне зношування шин і може призвести до серйозних наслідків. Експлуатація тролейбуса з надмірним люфтом у вузлах передньої підвіски є небезпечною, оскільки може викликати критичну відмову елементів або навіть дорожньо-транспортну пригоду (ДТП).

Шкворні, що вийшли з ладу, а також їх втулки та підшипники маточин коліс необхідно своєчасно замінювати. У випадках відсутності нових шкворнів допускається повторне використання старих: для цього їх потрібно повернути на 90° та застосувати другу лиску, яка вже передбачена на поверхні шкворня для надійного закріплення.

Деталі підвіски можуть мати низку характерних несправностей. Найпоширеніші з них — це поломки пружних елементів (листових ресор, пружин), які часто виникають внаслідок необережного водіння при подоланні нерівностей на дорозі. Може також спостерігатися поступове зменшення пружності пружин або окремих листів ресор, що призводить до їх провисання,

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перекошування кузова, а в разі використання незалежної підвіски — до порушення кутів встановлення передніх коліс.

Зламани пружні елементи, а також листи ресор, що втратили свою пружність, обов'язково потрібно своєчасно замінювати, щоб уникнути подальших ускладнень у роботі ходової частини.

Прискорене зношування пальців та втулок ресорної підвіски зазвичай пов'язане з недостатнім або нерегулярним змащуванням. Для відновлення працездатності зношені деталі необхідно замінювати на нові з обов'язковим дотриманням графіку технічного обслуговування.

Несправності амортизаторів найчастіше виникають через витікання гальмівної або робочої рідини, що проходить через зношені або пошкоджені сальники. У телескопічних амортизаторах у деяких випадках можливе усунення підтікання рідини шляхом підтягування гайки резервуара, що зменшує зазор у вузлі ущільнення.

Аналіз умов роботи поворотної цапфи тролейбуса. Весь вузол переднього колеса тролейбуса, з точки зору забезпечення надійності, слід розглядати як складну технічну систему, що складається з послідовно з'єднаних конструктивних елементів.

Надійність поворотного кулака переднього колеса тролейбуса необхідно оцінювати у тісному взаємозв'язку з вирішенням задач підвищення зносостійкості осі колеса. Основним видом відмови в цьому вузлі є фретинг-корозія з проковзуванням, що виникає внаслідок механічної дії колії підшипників кочення. Визначення механізму зношування пари тертя в цій зоні є вирішальним чинником для покращення експлуатаційної довговічності вузла.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шворневий вузол переднього колеса тролейбуса є критичним елементом, що безпосередньо впливає як на керованість транспортного засобу, так і на його загальну експлуатаційну надійність.

Основна конструктивна особливість цього вузла полягає в тому, що з'єднання “шкворінь – втулка” працює під дією надзвичайно високих контактних навантажень, які супроводжуються періодичними зворотно-обертливими рухами переднього колеса. Це зумовлює виникнення локального проковзування шкворня по поверхні втулки, що сприяє інтенсивному зносу.

Складні та важкі умови експлуатації поворотного кулака і шкворня обумовлюють прискорене стирання основних їх елементів. Через це термін служби шворневого вузла до досягнення граничного стану зносу є порівняно коротким, що вимагає активного пошуку нових технологічних і конструктивних рішень для підвищення його зносостійкості.

Впровадження нових інженерних рішень потребує обов'язкового застосування сучасних методів оцінки ефективності цих змін. Це дозволяє обґрунтовано вибирати оптимальні підходи до модернізації вузла та забезпечувати його стабільну роботу в умовах реальної експлуатації.

Основною причиною відмови вузла тертя є граничне збільшення зазору між роликівими підшипниками та цапфою поворотного кулака керованих коліс тролейбуса, що виникає внаслідок інтенсивного зносу посадочних місць цапфи поворотного кулака. Крім того, спостерігається поступове зношування внутрішнього кільця підшипника під впливом циклічних навантажень, які діють на колесо тролейбуса і змінюються відповідно до маси транспортного засобу та умов його експлуатації.

Швидкість зносу поворотного кулака безпосередньо залежить від швидкості руху тролейбуса, а отже — і від кількості обертів колеса за одиницю часу. Значну роль у процесі зношування відіграють ударні

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження, що виникають через наявність вибоїн та нерівностей на дорожньому покритті. Важливим фактором також є присутність осьових сил, що з'являються під час здійснення поворотів, особливо при русі тролейбуса на підвищених швидкостях.

Для виготовлення роликів підшипників, які встановлюються на валу поворотної цапфи, застосовується високоякісна підшипникова сталь марки ШХ15, яка має високі експлуатаційні характеристики, зокрема зносостійкість і твердість.

Якісна оцінка характеру та виду зношування пари тертя є необхідною передумовою для коректного визначення ресурсів вузла. Необхідний детальний опис прийнятого механізму зношування на основі наукової та технічної літератури: вивчення причин виникнення, аналіз кінетики зношування, визначення основних чинників впливу, проведення розрахункових оцінок, застосування методів експериментального дослідження, а також обґрунтування ефективних шляхів зниження зносу.

Визначення механізму зношування пари тертя "цапфа — внутрішнє кільце підшипника" є ключовим і вирішальним фактором для забезпечення надійності вузла. Основним видом відмови в даному випадку є фретинг-корозія з проковзуванням, яка виникає під впливом змінних механічних навантажень, коливальних рухів, змін швидкості, а також внаслідок дії колії підшипників кочення.

Фретинг-корозія — це процес поступового руйнування щільно контактуючих поверхонь пар тертя в умовах мікроскопічних коливальних переміщень. Для ініціювання цього виду корозії достатньо навіть незначної амплітуди переміщення поверхонь — у межах 0,025 мкм. Руйнування виявляється у вигляді утворення виразок, мікропошкоджень і продуктів

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корозії — нальоту, плям або порошкоподібного осаду на контактуючих поверхнях.

Цьому типу зношування піддаються не лише вуглецеві сталі, але й корозійностійкі сталі, що використовуються в парах тертя типу сталь–сталь (як одноіменні, так і різноіменні), сталь–олово, сталь–алюміній, сталь–сурма, чавун–бакеліт, чавун–хром та інші матеріальні комбінації. Це свідчить про необхідність застосування додаткових захисних заходів і вдосконалених конструктивних рішень.

Внаслідок малої амплітуди переміщення контактуючих поверхонь пошкодження зосереджуються переважно на невеликих локалізованих ділянках дійсного контакту. Продукти зношування при цьому не мають змоги вийти за межі зони тертя, що призводить до утворення підвищеного тиску між поверхнями і значного посилення абразивної дії цих продуктів на основний метал.

При фретинг-корозії відносна швидкість руху між контактуючими поверхнями, як правило, є дуже низькою. Наприклад, у випадку гармонічних коливань з амплітудою 0,025 мм і частотою 50 Гц максимальна швидкість становить приблизно 7,5 мм/с, тоді як середня швидкість — лише 2,5 мм/с. Це створює умови для мікроскопічних руйнувань без помітного зміщення деталей.

Якщо амплітуда коливального руху зростає до значення порядку 2,5 мм, то площа ураження фретинг-корозією значно збільшується, і характер зношування наближається до процесу при однонаправленому ковзанні. Виходячи з цього, амплітуду переміщення близько 2,5 мм можна вважати граничною межею для збудження фретинг-корозії в системах тертя. Варто зазначити, що все вищеприписане стосується умов експлуатації без використання змащення, тобто для незмащених поверхонь.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фретинг-корозія також може реалізовуватися у вакуумі, а також у середовищах кисню, азоту й гелію. Інтенсивність зношування при фретинг-корозії в атмосфері повітря є вищою, ніж у вакуумі або в середовищі азоту, а у кисневому середовищі — більшою, ніж у гелієвому. Таким чином, фретинг-корозія являє собою специфічний вид руйнування металів та їхніх сплавів у слабоагресивних або нейтральних корозійних середовищах, який виникає внаслідок одночасного впливу механічних навантажень і хімічних чинників.

Виразки та продукти корозії, що утворюються на спряжених поверхнях валів і напресованих на них деталей — таких як диски, колеса, муфти та кільця підшипників кочення, а також на осях і цапфах коліс рухомого складу залізниць — є результатом прояву фретинг-корозії, яка виникає в умовах мікропереміщень і вібрацій.

Продукти корозії накопичуються у вигляді сипкого порошкоподібного нальоту, що містить частинки зруйнованого металу та оксидів. У разі, якщо ці порошки не видаляються своєчасно з зони тертя, відбувається ослаблення з'єднань з натягом, оскільки частинки порушують контактну площу та призводять до втрати фіксації напресованих деталей.

Необхідні для розвитку цього процесу відносні мікропереміщення спряжених поверхонь виникають унаслідок деформації деталей під дією змінних навантажень, механічних вібрацій, а також пружних коливань, які характерні для динамічних систем. Навіть незначні циклічні переміщення у мікродіапазоні можуть викликати істотні руйнування поверхневого шару.

Пошкодження металевих поверхонь внаслідок фретинг-корозії є концентраторами напружень, що істотно знижують границю втомної міцності матеріалу. У деяких випадках втомні тріщини, викликані фретинг-корозією, виникають у валах під напресованими елементами в місцях, що розташовані далеко від традиційно розрахункових небезпечних перерізів, що ускладнює діагностику та прогнозування виходу з ладу.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Контактуючі поверхні зазнають пошкоджень через фретинг-корозію навіть у тих випадках, коли машина або механізм перебуває в неробочому стані. Це зумовлено передачею вібрацій, які збуджуються працюючими агрегатами в суміжному обладнанні. Подібне явище може мати місце й під час транспортування машин або обладнання на значні відстані, коли вібраційне навантаження створює мікрорухи у стиках деталей.

При розвитку корозійного процесу відбувається комплекс фізико-хімічних змін. Під дією сил тертя кристалічна ґратка поверхневих шарів металу поступово розхитується внаслідок циклічних тангенціальних зсувів, що призводить до її руйнування. Сам процес руйнування має характер диспергування поверхні без миттєвого видалення продуктів зношування. Металеві частинки, що відокремилися, швидко окислюються, утворюючи активні продукти корозії.[1-7]

Додатковим джерелом ушкодження контактуючих поверхонь може бути місцеве схоплювання матеріалів спряжених деталей, особливо за відсутності змащення або при наявності агресивного середовища. Це ще більше поглиблює ступінь зношування та прискорює процес деградації матеріалу.

Спрощена схема процесу корозії в початковій фазі виглядає так: переміщення та деформація контактуючих поверхонь під дією змінних дотичних напружень — ініціація корозії — руйнування захисних окисних плівок — оголення чистого металу — локальне схоплювання поверхонь — подальше руйнування місць схоплювання — адсорбція кисню на відкритих ділянках металевої поверхні.

Утворення окисних плівок на поверхні металу або ж поява продуктів зношування у вигляді оксидів змінює характер і динаміку розвитку зношування. Процес починає залежати не лише від початкових фізико-хімічних властивостей матеріалів пари тертя, а й від природи утворених

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оксидів та інших хімічних сполук. Окислення металу супроводжується збільшенням його об'єму, і в разі наявності замкнених контурів у зоні спряження це спричиняє локальне підвищення тиску, що в свою чергу активізує зношування та провокує утворення піттингів.

Окисли чинять виражений абразивний вплив, ступінь якого залежить від кількох параметрів: міцності зчеплення окисної плівки з основним металом, її твердості та розміру частинок у складі продуктів зношування. В більшості випадків твердість оксидів металів перевищує твердість самих чистих металів, що пояснює їх високу абразивну активність у процесі фретинг-корозії.

Механізм зношування при корозійному навантаженні включає кілька стадій: початковий контакт між деталями відбувається лише в окремих точках поверхні. Під дією вібрацій окисні плівки у зоні фактичного контакту руйнуються, з'являються невеликі каверни, які поступово розростаються та зливаються в одну більшу. У межах такої каверни підвищується тиск окисдованих частинок металу, формуються мікротріщини, деякі з яких зливаються, викликаючи відколювання об'ємів матеріалу. Частинки оксидів, що утворилися, стають джерелом додаткового абразивного впливу.

Під впливом високого тиску та тертя в зоні дії окислів підвищується температура, що сприяє утворенню специфічних "білих" нетравлених структур на поверхні каверн та в уламках металу, які вивільняються при зношуванні. Такі структури є ознакою сильного локального нагріву та інтенсивної деформації матеріалу.

Твердість оксиду алюмінію (Al_2O_3) суттєво перевищує твердість навіть азотованої сталі. Це пояснює на перший погляд парадоксальний факт: руйнування надтвердих сплавів при фретинг-корозії, зокрема інтенсивне зношування загартованої хромистої сталі при терті по алюмінію. І навпаки,

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при терті цієї ж сталі по цинку або міді — металах із вищою, ніж у алюмінію, твердістю — пошкодження є меншими, оскільки оксиди цинку та міді мають нижчу твердість.

Разом з тим, мідь зазнає зношування значно менше, ніж цинк, не лише через вищу твердість, а й завдяки тому, що її окисні плівки мають добру адгезію до основного металу і формують щільний, захисний бар'єр, що обмежує подальше руйнування. Застосування твердих оксидів, зокрема олова й алюмінію, у вигляді дисперсних включень у м'які метали здатне істотно знизити інтенсивність їх зношування в умовах фретинг-корозії.

Крім того, значні розміри частинок оксидів також посилюють процес зношування. Наприклад, у парі "алюміній — загартована хромиста сталь", де сталь активно зношується, розмір частинок корунду може сягати 10 мкм, що значно підвищує інтенсивність абразивного впливу та знижує ресурс з'єднання.

Можна було б припустити, що наявність вільного графіту в складі сірих чавунів, які працюють у контакті без застосування мастильних матеріалів, повинна знижувати швидкість зношування при фретинг-корозії. Проте результати експериментальних досліджень цього не підтверджують. Перлітні чавуни, що контактують один з одним, виявляються менш схильними до пошкодження, ніж феритно-перлітні, завдяки їх вищій твердості. Висока твердість матеріалу є безсумнівно позитивним фактором у боротьбі зі зношуванням. Додаткове зміцнення феритно-перлітних чавунів забезпечується наявністю фосфідної евтектики, що покращує механічну стійкість до дії тертя.

У процесі фретинг-корозії можливе також утворення так званих «білих шарів» внаслідок дифузії азоту або вуглецю, що виділяються з продуктів розпаду мастильних матеріалів при нагріванні. Крім того, внаслідок

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локального захоплення і пластичної деформації металу можуть формуватися напливи матеріалу, що також сприяють утворенню концентраторів напружень.

Із зростанням тиску, а особливо зі збільшенням амплітуди відносних зміщень контактуючих поверхонь, інтенсивність зношування при фретинг-корозії значно підвищується. Це зростання пов'язане з розширенням площі контакту, ураженої корозійними процесами. Підвищення частоти коливальних переміщень також призводить до прискорення зношування, однак, починаючи з певної граничної частоти, активність пов'язаних з часом процесів — таких як окислення, наклеп, дифузійні явища — знижується, і темп зношування вже не зростає так стрімко.

Універсальних і гарантовано ефективних методів боротьби з фретинг-корозією не існує. Враховуючи, що мікропереміщення спряжених поверхонь повністю виключити неможливо через пружні властивості матеріалів, основна стратегія повинна полягати в зменшенні цих мікрорухів і зниженні сил тертя. Одночасно бажано, щоб проковзування відбувалося не безпосередньо між деталями, а в проміжному змащувальному або амортизуючому середовищі.

Зменшити відносні мікропереміщення контактуючих поверхонь можна шляхом раціонального конструювання та надання деталям спеціальної геометричної конфігурації, а також шляхом підвищення сили тертя. Наприклад, добре відомо, що застосування розвантажувальних виточок у маточинах підвищує граничну витривалість валів і осей, знижуючи концентрацію напружень у критичних зонах.

Сили тертя можна підвищити кількома способами: через збільшення тиску в зоні контакту (одночасно зменшуючи площу дотику) або за рахунок підвищення шорсткості поверхонь. Збільшення тиску доцільне тільки в тому

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадку, коли проковзування переходить у субмікроскопічну зону; інакше це може викликати протилежний ефект — пришвидшене руйнування. Шорсткість контактних поверхонь тривалий час впливає на коефіцієнт тертя лише в тому випадку, якщо хоча б один елемент пари тертя не є металом.

Ще один ефективний метод збільшення сили тертя полягає у нанесенні на одну з контактуючих поверхонь електролітичного покриття з міді, олова, кадмію, срібла або золота. Такі покриття збільшують фактичну площу контакту за рахунок пластичності шару, що, у свою чергу, знижує мікропереміщення. Наприклад, за допомогою луження можна повністю запобігти фретинг-корозії в зоні контакту між литим алюмінієвим картером і корпусом підшипника. Кадміювання вкладишів, болтів та інших з'єднувальних елементів широко застосовується в авіаційній, автомобільній та космічній промисловості як захист від корозії і мікрозсувів.

Однак важливо враховувати, що при значних мікропереміщеннях такі покриття також піддаються фретинг-корозії і мають обмежений термін служби — вони можуть швидко руйнуватися, особливо в умовах агресивного середовища та вібраційних навантажень.

Якщо повністю виключити дію вібрації в конструкції неможливо, то зменшити пошкодження контактуючих поверхонь можна шляхом зниження сили тертя або перенесення зони ковзання на проміжне середовище. Для зниження питомої сили тертя досить зменшити або контактний тиск, або сам коефіцієнт тертя між деталями. Однак в умовах фретинг-корозії традиційні мастильні матеріали майже не впливають на коефіцієнт тертя, оскільки гранична плівка не здатна відновлюватися в процесі роботи й швидко руйнується через мікрозсуви. [4, 8-12]

Дисульфід молібдену, який застосовується у вигляді порошку або пасти, значною мірою зменшує ступінь пошкоджень, однак він не є універсальним засобом боротьби зі зношуванням. Аналогічний ефект мають

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свинцеві білила або їх суміш із дисульфідом молібдену. Ефективним також є фосфорування поверхні, яка потім обробляється водяною емульсією мастила або покривається тонким шаром парафіну — це також зменшує сили тертя між деталями.

Свинцеві та індієві покриття, які мають низький опір зміщенню, виконують роль твердих мастильних матеріалів. Хоча сила тертя при цьому дійсно зменшується, основне призначення таких покриттів полягає в тому, щоб перенести процес ковзання й мікрозсувів у саму товщу покриття. Як і будь-який інший матеріал, усі ці покриття поступово спрацьовуються, тому ефективність їх застосування визначається передусім тривалістю служби в конкретних умовах навантаження.

Зменшити пошкодження, викликані фретинг-корозією, можливо також шляхом підвищення твердості однієї зі сталей у парі тертя. При збільшенні твердості зменшується глибина взаємного проникнення поверхонь, що, у свою чергу, знижує інтенсивність зношування. Крім того, продукти зношування в такому випадку мають менші розміри, що послаблює їх абразивну дію на метал.

Визначення сил, що діють у зоні спряження деталей пари тертя. Щоб визначити сили, що діють на пару тертя — зокрема на цапфу поворотного кулака та встановлений на неї підшипник кочення, — необхідно знати загальне навантаження, яке діє на передню вісь тролейбуса. Це навантаження змінюється залежно від загальної маси тролейбуса, ступеня його заповнення, а також швидкості руху. Додатково враховуються ударні навантаження, що виникають унаслідок наїзду на дорожні нерівності (вибоїни тощо). Такі ударні впливи частково поглинаються гумовими шинами та пружними елементами підвіски.

Середнє значення сили, що діє на передню вісь тролейбуса, можна прийняти як $Q = 8000$ кг. За умови рівномірного розподілу навантаження між

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колесами, на кожне переднє колесо припадає $Q = 4000$ кг. Колеса кріпляться до маточини, яка встановлюється на підшипники кочення. Ці підшипники, у свою чергу, посаджені на цапфу поворотного кулака. Таким чином, все зусилля, яке сприймається колесом, передається на цапфу через два підшипники, здатні витримувати як радіальні, так і осьові навантаження, які виникають під час руху та особливо при поворотах.

Навантаження, що сприймається колесом, розподіляється між внутрішнім і зовнішнім підшипниками залежно від їхньої здатності передавати зусилля, тобто — залежно від внутрішніх діаметрів підшипників. Припустимо, внутрішній діаметр першого (внутрішнього) підшипника становить 70 мм, а другого (зовнішнього) — 55 мм. Сума діаметрів дорівнює 125 мм.

Приймаючи цю суму за 100%, легко обчислити розподіл навантаження:

підшипник з діаметром 70 мм сприймає 56% навантаження:

$$4000 \text{ кг} \times 0,56 = 2240 \text{ кг},$$

підшипник з діаметром 55 мм сприймає 44% навантаження:

$$4000 \text{ кг} \times 0,44 = 1760 \text{ кг}.$$

Отже, внутрішній підшипник бере на себе більшу частину зусилля, що діє на колесо, і це потрібно враховувати при проектуванні та виборі матеріалів і геометрії деталей. Такий підхід дозволяє більш точно оцінити реальні робочі умови пари тертя та забезпечити оптимальний ресурс вузла поворотної цапфи.

1.3 Загальна характеристика методів виготовлення деталей пари тертя.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виготовлення підшипників, що встановлюються на маточину переднього колеса тролейбуса, застосовується високоякісна підшипникова сталь марки ШХ15, яка надходить на підшипниковий завод із ливарних цехів у вигляді трубного прокату (прутків) відповідно до конструктивних розмірів майбутніх підшипників. На першому етапі виробничого процесу прутки нарізають на заготовки певної ширини.

Щоб зняти залишкові внутрішні напруження після прокатки і надати металу структуру, придатну для механічної токарної обробки, заготовки піддаються термічній обробці — зокрема, відпалу. Під час цього процесу відбувається рекристалізація деформованих зерен, що супроводжується зменшенням твердості поверхні та усуненням напружень, які утворились унаслідок попередньої деформації. У результаті формується структура, яка є оптимальною для обробки металорізальним інструментом.

Далі виготовляється внутрішнє кільце підшипника — спочатку шляхом механічного знімання шару металу з його зовнішньої поверхні, потім нарізується канавка для тіл кочення за допомогою профільного шліфувального круга. Після цього аналогічну обробку проходить зовнішнє кільце підшипника, але вже з внутрішньої сторони: спочатку профільним різцем, а потім — також шліфувальним кругом, у результаті чого формується посадкова канавка для тіл кочення, якими можуть бути ролики або кульки, залежно від типу та призначення підшипника.

Сировиною для виготовлення тіл кочення служить прутковий прокат, який нарізають на короткі заготовки та піддають обкочуванню — це процес, у ході якого їм надають необхідної геометричної форми: сферичної, конічної, циліндричної або бочкоподібної, залежно від типу конструкції підшипника. Після формоутворення тіла кочення піддають електрохімічному поліруванню, що забезпечує високу чистоту поверхні, а також зменшує мікронерівності, що можуть сприяти зношуванню.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення механічної обробки внутрішніх і зовнішніх кілець, а також полірування тіл кочення, усі компоненти проходять термічну обробку, зокрема гартування та відпуск. У результаті формується структура дрібнозернистого перліту з твердістю HRC 61–62, що значно підвищує зносостійкість і довговічність підшипників. У процесі виготовлення деталей підшипників кочення, як і під час їх монтажу, здійснюється суворий контроль розмірів, допусків і якості посадок, оскільки ці деталі є високоточними і повинні повністю відповідати вимогам державних стандартів (ДСТУ/ГОСТ).

Цапфа тролейбуса, на яку встановлюються підшипники разом із маточиною, виготовляється з конструкційної сталі 40Х методом гарячого кування на ковальсько-пресовому обладнанні. Кування виконується у спеціальних формувальних штампах, завдяки чому досягається зміцнення структури металу шляхом видовження зерен, що істотно підвищує механічну міцність.

Після операції штампування заготовку піддають індукційному гартуванню методом СВЧ. Джерелом тепла при цьому процесі є струми Фуко, що виникають безпосередньо в металі під дією високочастотного електромагнітного поля. Глибина нагріву металу при СВЧ-гартуванні невелика і значною мірою залежить від кількох факторів: зазору між індуктором і заготівлею, магнітної проникності матеріалу, а також частоти струму гартування. Чим вища частота струму, тим менша глибина гартування, і навпаки.

Температура нагріву при СВЧ-гартуванні має бути вищою, ніж при звичайному пічному гартуванні, оскільки швидкість нагрівання значно більша і фазові перетворення відбуваються в області підвищених температур. Зокрема, в доевтектоїдних сталях, таких як 40Х, швидкий нагрів «обганяє» дифузію вуглецю, що призводить до перетворення залишкового фериту у маловуглецевий аустеніт.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Діапазон температур при СВЧ-гартуванні сталі 40Х становить 880–1020 °С, що залежить від швидкості нагріву, товщини деталі та інших параметрів. Для порівняння, температура гартування в умовах традиційного пічного нагріву зазвичай не перевищує 840–860 °С. Такий температурний режим у поєднанні зі швидким охолодженням забезпечує утворення міцної, зносостійкої структури, придатної для роботи під динамічними навантаженнями, які виникають у вузлах підвіски та ходової частини тролейбуса.[11-19]

1.4 Характеристика мащення деталей пари тертя

Опис способу та схема подачі мастильного матеріалу. Призначення, маркування, фізико-хімічні та антифрикційні властивості мастильного матеріалу.

Для змащування підшипників маточини підвіски тролейбуса використовують пластичні мастила, зокрема солідол або літол-24, які мають низку переваг перед рідкими мастилами. До таких переваг належать: відсутність розтікання, можливість ефективної роботи в умовах глибокого вакууму, а також наявність граничної текучості, при перевищенні якої мастило починає текти без порушення суцільності своєї структури. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу вузлів у складних умовах експлуатації.

Як дисперсне середовище в пластичних мастилах застосовують складні ефіри, мінеральні масла, синтетичні вуглеводні, а також кремнійорганічні синтетичні рідини. В якості дисперсних фаз, які найчастіше використовуються, виступають мила жирних кислот — літєві, кальцієві, натрієві, алюмінієві та інші. Крім того, можуть застосовуватися модифіковані крем-гелі, пігменти, технічний вуглець, тверді вуглеводні та низка інших

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полідисперсних твердих речовин, що мають здатність утворювати з мастилами стабільні псевдогелі.

Однією з найважливіших властивостей пластичного мастила є здатність надійно розділяти спряжені деталі, які переміщуються одна відносно одної, шаром достатньої товщини, що запобігає або значно зменшує контакт мікроставів поверхонь. Саме ця властивість є визначальною при розробці антифрикційних систем. Специфіка фізико-хімічного стану мастила та його властивостей визначають його функціональне призначення і сферу застосування як антифрикційного, консерваційного чи ущільнювального матеріалу.

Залежно від конкретного призначення, мастила виконують у різному ступені такі основні функції:

- зменшують сили тертя між деталями, що переміщуються одна відносно іншої;
- знижують інтенсивність зношування та запобігають утворенню задирів;
- захищають металеві поверхні від корозійного впливу навколишнього середовища;
- ущільнюють зазори між спряженими деталями, запобігаючи проникненню пилу, вологи або сторонніх частинок.

Окрім виконання вищевказаних основних функцій, пластичні мастила також виконують додаткові технічні завдання: виступають як електроізоляційні матеріали, знижують рівень вібрації і шуму, амортизують ударні навантаження, а також сприяють стабільності роботи вузлів у динамічних режимах. Проте на практиці майже неможливо створити універсальне мастило, здатне ефективно виконувати всі перелічені функції одночасно. Та в більшості випадків цього й не вимагається.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підшипники кочення, встановлені на цапфі переднього колеса тролейбуса, змащуються ще на етапі складання вузла тертя пластичним мастилом марки "Літол-24". Це мастило відноситься до групи літієвих мастил, які вважаються одними з найперспективніших і найпоширеніших у транспортній техніці. Літол-24 залишається працездатним у широкому діапазоні температур, навантажень і швидкостей ковзання. Його головною перевагою є висока стабільність властивостей у часі.

Вміст загущувача в Літолі-24 становить лише 8–12%, що при використанні низькозастигаючих базових масел дозволяє застосовувати мастило при температурі до -50 °С. Упродовж останніх років було розроблено ряд високоякісних літієвих мастил, основою яких є мила 12-оксистеаринової кислоти. Вони призначені спеціально для вузлів тертя швидкохідних механізмів, що працюють у режимах підвищених температур і значних механічних навантажень.

У процесі виробництва літієвих мастил частіше, ніж у випадку з іншими мастилами, застосовується суміш нафтових і синтетичних базових масел, а до основного загущувача додаються тверді вуглеводні, які покращують термостійкість і консистенцію. Більшість літієвих мастил містять спеціальні присадки, наповнювачі та їх комбінації, які поліпшують антифрикційні, антикорозійні та інші експлуатаційні характеристики.[4, 9-12]

1.5. Технологія технічного обслуговування шворневого вузла тролейбуса

Кути встановлення керованих коліс діагностують і регулюють лише після усунення люфту в шворневих з'єднаннях та підшипниках маточин коліс, а також за умови наявності нормального робочого тиску повітря в шинах і

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правильного кріплення дисків коліс. Ці кути визначаються за допомогою стаціонарних стендів або спеціальних переносних приладів.

Стенди для діагностики бувають механічні, оптичні, оптико-електричні та електричні, тоді як переносні вимірювальні прилади можуть бути механічними, рідинними або оптико-електричними. Серед усіх типів обладнання найбільш поширеними і точними є саме оптичні стенди (рис. 1.2), які забезпечують найвищу точність вимірювання кутових параметрів.

На оптичних стендах проводиться вимірювання таких параметрів, як кут розвалу, кут сходження, поздовжній нахил шворня, а також співвідношення кутів повороту керованих коліс. Ці значення визначаються за допомогою оптичного методу — через зміну положення зображення на шкалі вимірювального приладу. При цьому кут поперечного нахилу шворня визначають за допомогою рівня, змонтованого всередині дзеркального відбивача, закріпленого на колесі.

Процес вимірювання кутів на оптичному стенді передбачає визначення нахилу дзеркального відбивача, встановленого паралельно площині обертання колеса, а також реєстрацію зміни цих кутів при повороті колеса на 20° . Це особливо важливо для вимірювання поздовжнього нахилу шворня та аналізу співвідношення кутів повороту коліс, що впливають на стійкість керування транспортним засобом.

У ситуації, коли кути розвалу та сходження відсутні або мінімальні, зображення шкали стояка, яке спостерігається через мікроскоп, після проходження променя через систему дзеркал, закріплених на ободі колеса і на стояку стенду, точно накладається на нерухоме перехрестя в полі зору окуляра. У разі наявності розвалу колеса шкала зсувається вертикально — вгору або вниз, залежно від напрямку відхилення. Якщо має місце сходження або розбіжність коліс, шкала зміщується в горизонтальній площині — вправо

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або вліво. Величина цих зміщень відповідає значенням відповідних кутів: розвалу — по вертикалі, сходження — по горизонталі.

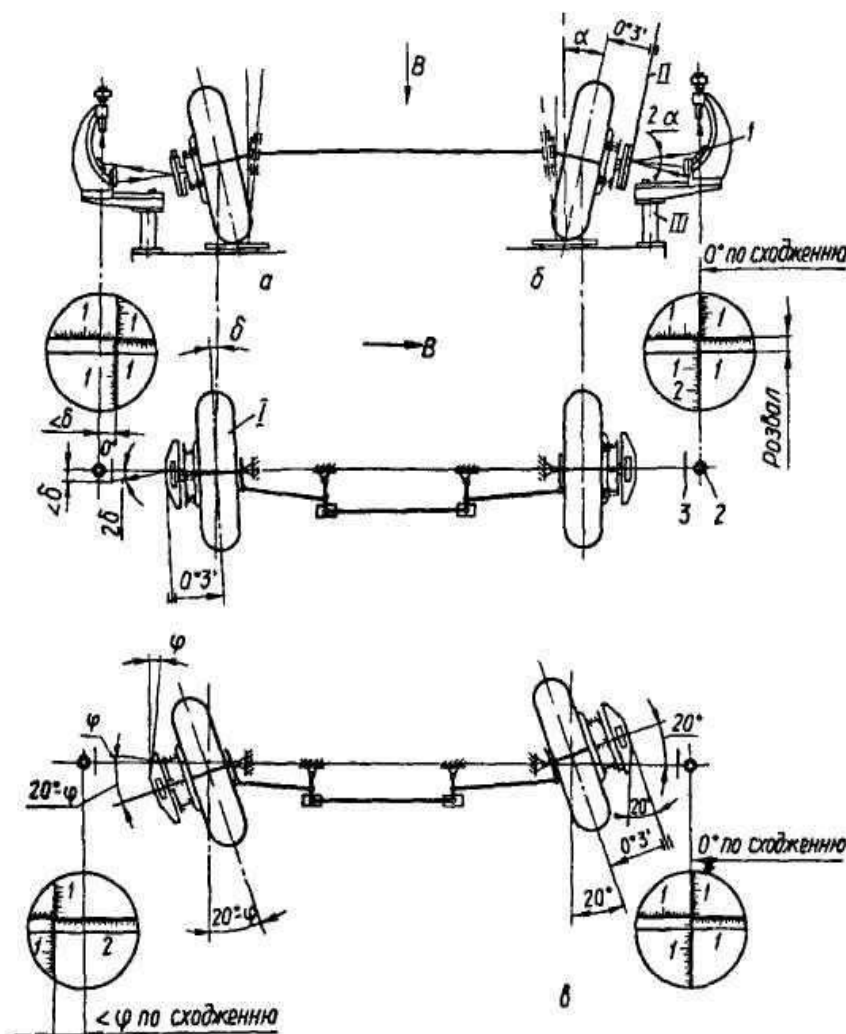


Рис. 1.2 - Перевірка за допомогою оптичного стенда кутів встановлення коліс тролейбуса

а — визначення сходження δ коліс; б — визначення розвалу δ коліс; в — визначення співвідношення і кутів повороту коліс; I — площина обертання колеса; II — площина дзеркала колеса; III — площина хакалі; 1 — дзеркало мікроскопа; 2 — окуляр мікроскопа; 3 — шкала мікроскопа.

Таким чином, оптичний метод забезпечує точне і візуально наочне визначення параметрів положення коліс, що дозволяє здійснювати своєчасне регулювання і гарантує правильну геометрію підвіски та надійне керування тролейбусом або іншим транспортним засобом.[4, 10-15]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір обладнання для відновлення

Відсутність компактних малогабаритних плазмотронів істотно обмежує можливість широкого застосування плазмового наплавлення для відновлення деталей складної геометричної форми, таких як колінчасті та розподільчі вали автомобілів, внутрішні робочі поверхні корпусів, отворів, втулок та інших елементів механізмів з важкодоступними зонами.

Більшість плазмотронів, які серійно випускаються промисловістю або були розроблені науково-дослідними установами, характеризуються співвісним розташуванням центрального електрода та плазмостворюючого сопла. Такі конструкції, як правило, включають дво- або трьохконтурні системи подачі: плазмостворюючого газу, захисного середовища та транспортуючого газу (в разі порошкової наплавки). Наявність багатоконтурної системи значно ускладнює конструкцію плазмотрона та зумовлює збільшення його габаритів. У результаті зовнішній діаметр таких пристроїв зазвичай перевищує 30...35 мм, що робить їх непридатними для роботи у вузьких або складних місцях.

У відповідь на ці обмеження було розроблено низку малогабаритних плазмотронів, у яких основне розташування електрода і сопла залишилося співвісним, але при цьому застосовано об'єднану систему подачі захисного і транспортуючого газів. Це технічне рішення дозволило зменшити поперечні розміри плазмотрона до 24...28 мм, що вже є суттєвим кроком уперед. Проте подібне спрощення конструкції призвело до певних компромісів — зокрема, до зменшення потужності пристрою, погіршення ефективності охолодження та менш надійного газового захисту зони наплавлення.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальші інженерні пошуки і вдосконалення привели до створення надкомпактного малогабаритного плазмотрона циліндричної форми, діаметром лише 22 мм і довжиною 60 мм. Особливістю цієї конструкції є оригінальне розміщення плазмостворюючого сопла — не співвісно, а на боковій поверхні циліндричного анода (рис. 2.1). Це рішення забезпечило можливість доступу до важкодоступних ділянок деталей, що потребують відновлення.



Рис. 2.1 Малогабаритний плазмотрон.

Охолодження як катода, так і анода здійснюється за допомогою одноконтурної охолоджувальної системи, яка значно спрощує експлуатацію пристрою. Порошковий матеріал подається безпосередньо в зварювальну ванну завдяки потоку транспортуючого газу, що покращує точність наплавлення та зменшує втрати порошку.

Даний тип малогабаритного плазмотрона демонструє стабільну та надійну роботу на постійному струмі прямої полярності. Його конструкція є максимально простою, економічно вигідною та не містить складних або трудомістких у виготовленні елементів. У разі зносу або поломки електрода можлива його швидка та зручна заміна, що підвищує ремонтпридатність та знижує простої обладнання.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. - Технічна характеристика

Показник	Значення
Електрична потужність, кВт	до 6
Діаметр плазмостворюючого сопла, мм	4
Витрати аргону, л/хв	
- плазмостворюючого	1,5... 2
- захисного	6...8
- транспортуючого	2...4
Максимальна відстань від плазмотрона до деталі, мм	12
Діаметр електрода, мм	3
Витрата охолоджуючої води, л/хв	до 3

Використання малогабаритного плазмотрона у поєднанні з попередньо розробленим механізмом повороту та осьових коливань дозволяє здійснювати високоякісну та рівномірну наплавку шийок валів, а також внутрішніх циліндричних поверхонь різноманітних деталей. Цей підхід забезпечує точне нанесення матеріалу в умовах обмеженого простору та складної геометрії поверхні. Плазмотрон може ефективно застосовуватись як при порошковому наплавленні, так і при наплавленні проволокою, а також у комбінованому режимі — з одночасною подачею порошку через канал проволоки безпосередньо в зварювальну ванну (рис. 2.1), що підвищує якість формування шару.

Для виконання таких технологічних операцій застосовується автомат А1756, призначений для плазмового наплавлення. Цей автомат є універсальним: його можна використовувати не лише для наплавлення, але й для плазмового напилення поверхонь. Для цього необхідно змінити

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричну схему підключення, а також замінити плазмотрон на відповідний до режиму напильня. Така гнучкість автомата значно розширює сферу його використання в ремонтно-відновлювальних роботах та технологічних процесах.

Зокрема, для напильня внутрішнього отвору цапфи доцільним є використання саме автомата А1756, який має переваги перед більш ранніми моделями, такими як автомат А1670. Завдяки використанню малогабаритного плазмотрона з оптимальною та прийнятною технічною характеристикою, А1756 забезпечує високу точність і стабільність процесу напильня навіть у важкодоступних ділянках. Такий підхід гарантує надійне відновлення геометрії та механічних властивостей деталей, що експлуатуються в умовах підвищених навантажень.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики автомата А1756 для плазмового напильня

Параметр	Значення
Параметри коливаль плазмотрона:	
- амплітуда, мм	2,5...25
- частота, хв ⁻¹	8...80
Продуктивність напильня, кг/год	0,35...15
Витрати аргони, л/хв	25...40
Ємкість бункера для порошку, дм ³	4,5
Номинальна напруга живлення, В	380
Номинальний струм напильня при ПВ=100 %, А	300
Сумарна потужність електродвигунів автомата, кВт*А	0,59

Для живлення сучасних плазмотронів електричною енергією застосовуються різні типи джерел: постійного струму, змінного струму (одно- та трифазного), а також імпульсного струму.

Найбільше розповсюдження на сьогодні отримали джерела постійного струму, які забезпечують високу стабільність горіння плазмової дуги, точність підтримання технологічних параметрів процесу та надійність при тривалому використанні. Такі джерела мають значне розмаїття. Залежно від форми зовнішньої вольт-амперної характеристики вони можуть бути поділені на джерела живлення з жорсткою характеристикою (напруга не змінюється при зміні сили струму) та з круто спадною характеристикою, яка є переважною для плазмового обладнання.

У наш час, поряд зі спеціалізованими джерелами, в ряді випадків для живлення плазмового устаткування використовують уніфіковані стандартні джерела, які зазвичай застосовуються в дуговому зварюванні. Однак джерела живлення для плазмової обробки повинні мати саме крутопадаючі характеристики. Такі джерела поділяються на кілька категорій: на основі дроселів насичення, на керованих електронних приладах, а також параметричні джерела живлення.

Найбільш поширеними у промисловому використанні є джерела на основі дроселів насичення — завдяки простоті конструкції, високій надійності та широкому діапазону регулювання струму. До таких належать:

ИПР-120/600, що входить до складу устаткування ОПР-6 для ручного та механізованого різання металів у середовищі азоту або аргону з воднем;

ИПГ-500, застосовуваний в установках УГЕР-300 і УГЕР-500, призначених для різання металів товщиною від 30 до 150 мм;

ВПР-402 в обладнанні АПР-401 для повітряно-плазмового різання металевих поверхонь.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерела живлення на керованих приладах представлені моделями ИПН-160/600, що використовуються в комплексах для плазмового напилення і металізації. Також до них належать установки УПУ-3, УПУ-3М, оснащені механізмом переміщення магнітних шунтів. Найбільш широке використання мають тиристорні джерела живлення, які дозволяють регулювати середні значення випрямлених струму та напруги змінюючи фазу відкриття тиристорів. Вони є складовою частиною установок АПР-402, УПР-201, УПР-302.

Параметричні джерела живлення базуються на принципі стабілізації та точного регулювання струму дуги за допомогою потужних транзисторів. Такі джерела здатні генерувати струм в межах 30–100 А та напругу холостого ходу до 40 В. Вони є частиною установок АП-4, АП-5, призначених для плазмового й мікроплазмового зварювання із високою точністю.

Станом на сьогодні створено ряд промислових установок для плазмового напилення, що мають різне призначення та рівень продуктивності. Так, установка УМП-6 забезпечує продуктивність до 4,5 кг/год при нанесенні керамічних порошків і до 7 кг/год при нанесенні твёрдосплавних матеріалів. В якості робочих газів використовують технічно чисті гази — азот, аргон, гелій, водень, а також їх різні комбінації.

Універсальна установка УПУ-3 призначена для плазмового напилення порошкових матеріалів або дроту. Її продуктивність залежить від типу матеріалу й складає: до 2 кг/год для кераміки, до 3,5 кг/год для твердих сплавів і від 4 до 10 кг/год для металевих дроту. Робочими газами в цьому випадку є аргон та водень.

Ще однією ефективною системою є установка АПР-403, призначена для нанесення металевих і неметалевих порошків, а також металевих дроту. Її продуктивність досягає 15 кг/год за нанесеним матеріалом. Як

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

плазмостворюючі гази тут використовуються атмосферне повітря, природний газ, вуглекислий газ та азот.

2.2 Вибір обладнання для механічної обробки

Обробку зовнішньої поверхні вала виконуємо на круглошліфувальному верстаті моделі 3A151, застосовуючи метод поздовжньої подачі на прохід, що дозволяє досягти необхідної точності та якості обробки.

1. Вибір шліфувального круга

У процесі зовнішнього шліфування з поздовжньою подачею, необхідно забезпечити шорсткість обробленої поверхні в межах Ra 3.6...6.1, що відповідає вимогам до деталей з цементованої конструкційної сталі твердістю HRC > 50.

В якості абразивного матеріалу обираємо білий електрокорунд (ЕБ), марка Е9А, оскільки він відзначається підвищеною твердістю, що ідеально підходить для обробки високоміцних сталей. Цей вибір обумовлений не лише властивостями матеріалу заготовки, а й жорсткими вимогами до точності геометричних форм та шорсткості поверхні після шліфування.

Обрана характеристика круга включає: зернистість №40, твердість СМ2, зв'язка — керамічна (К).

Повне маркування шліфувального круга буде наступне:
ПВД24А40НСМ25К8 35 м/с

Розміри нового шліфувального круга становлять:

Зовнішній діаметр круга $D_k = 600$ мм

Ширина круга (або висота) $B_k = 63$ мм

Обробку внутрішніх поверхонь вала проводимо на круглошліфувальному верстаті моделі 3A228, також із застосуванням

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поздовжньої подачі на прохід, яка забезпечує високу точність при мінімальній шорсткості внутрішньої поверхні.

Вибір шліфувального круга для внутрішнього шліфування

Підбираємо шліфувальний круг аналогічної характеристики, що й для зовнішнього шліфування, оскільки матеріал заготовки однаковий — цементована сталь твердістю понад HRC 50.

Таким чином, характеристика круга:

ПВД24А40НСМ25К8 35 м/с — зберігається без змін.

Визначаємо діаметр круга D_k та його ширину B_k . Для внутрішнього шліфування рекомендоване співвідношення $D_k/d_d = 0,75...0,95$, де d_d — діаметр отвору.

Приймаємо середнє значення співвідношення:

$$D_k = 0,85 * d_d = 0,85 * 44 = 37,4 \text{ мм}$$

Заокруглюємо за ГОСТ 2424-80 до стандартного значення — $D_k = 40$ мм

Згідно з тим же стандартом, ширина круга повинна бути на 5...10 мм меншою за довжину оброблюваного отвору (L). Якщо

$$L = 20 \text{ мм, тоді}$$

$$B_k = 20 - 10 = 10 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення $B_k = 13$ мм, згідно з рядами основних розмірів, наведених у довіднику [11].

2.3 Технологічний процес відновлення та підвищення зносостійкості вала

Технологічний процес (ТП) наплавлення деталей складається з поетапного, почергового виконання впорядкованого переліку основних технологічних операцій, що включають:

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ретельне миття та очищення деталі,
підготовку поверхні деталей до подальшого наплавлення,
безпосередньо процес ТП наплавлення та напилення,
механічну обробку після нарощування шару,
хіміко-термічну обробку валу для зміцнення,
доопрацювання поверхні, а також контроль якості отриманого покриття.

005. Миття та очищення деталі

Існують різні, ефективні методи видалення бруду, мастильних залишків та інших забруднень з поверхонь деталей. Найбільш поширеним і результативним є миття з використанням органічних розчинників або лужних мийних розчинів.

Очищення вала здійснюють у такій послідовності:

за допомогою спеціалізованих митних машин; як активний миючий засіб використовують лабомід 203 згідно з ГОСТ 9403-80, з концентрацією 15...20 г/л, тривалість процесу залежить від ступеня забруднення;

при застосуванні методу розпилення, як розчинник використовують лабомід 101 або 102 за ГОСТ 9402-80, з концентрацією 5...15 кг/м³, при температурі 50...70 °С, час обробки складає 1...5 хвилин;

також широко застосовується їдкий натр (каустична сода) за ГОСТ 2263-79 з концентрацією 50 г/л, температура розчину повинна бути в межах 80...90 °С; після обробки обов'язково проводиться дворазове промивання — спочатку гарячою, а потім холодною водою.

Після процесу знежирення та промивання, проводять контрольну промивку у воді з контрольованим вмістом мінеральних солей відповідно до ГОСТ 2874-82.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сушіння деталей після миття виконується в термошафах при температурі 60...150 °С, або за допомогою обдування стисненим повітрям згідно з ГОСТ 17433-80, що пришвидшує процес та запобігає корозії.

010. Підготовка деталі під напилення

Для усунення поверхневих дефектів, вирівнювання форми, відновлення геометричної точності та зняття цементованого або зношеного твердого шару з поверхні вала, застосовується метод шліфування, який виконується на високоточному шліфувальному обладнанні.

Цей етап є критично важливим, оскільки забезпечує необхідну якість підготовленої базової поверхні, що безпосередньо впливає на зчеплення шару наплавленого металу з основним матеріалом та довговічність майбутнього виробу.

Припуск для попереднього шліфування приймаємо рівним $h = 0,3 \dots 1,0$ мм, що трохи перевищує типову товщину цементованого зміцненого шару. Це забезпечує гарантоване повне зняття зміцненої поверхні з дефектами.

Розрахунок режимів шліфування виконується за правилами, які встановлено для чорнової обробки (чорнового шліфування). У результаті цієї обробки отримується шорсткість поверхні $Ra = 6,3 \dots 12$ мкм, що є допустимою на стадії попереднього формування поверхні перед наплавленням або чистою обробкою.

Розрахунок основного машинного часу виконання операції виконується за стандартною формулою [11]:

$$T_o = \frac{L \cdot i \cdot k_3}{n \cdot S_{\text{пр}}}$$

де:

L — загальна довжина поверхні, що обробляється, включаючи врізання і перебіг круга;

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

l — фактична довжина шліфованої ділянки (в мм);
 y — додаткове врізання і перебіг шліфувального інструменту, приймаємо $y = 0,3$ мм;

$$L_1 = l + y = 80 + 0,3 = 80,3 \text{ мм}$$

$$L_2 = 40 + 0,3 = 40,3 \text{ мм}$$

i — кількість проходів шліфування, приймаємо $i = 8$ проходів;
 k_3 — коефіцієнт, що враховує зворотні холості ходи, приймаємо середнє значення $k_3 = 1,5$ (в межах 1,2...1,7);

n — частота обертання деталі, приймаємо $n = 1080$ об/хв;

$S_{пр}$ — повздовжня подача на один оберт, $S_{пр} = 2$ мм/об.

Розрахунок основного часу (T_0):

Для першої ділянки:

$$T_{o1} = \frac{80,3 \cdot 8}{1080 \cdot 2} \cdot 1,5 = 0,446 \text{ хв.}$$

Для другої ділянки:

$$T_{o2} = \frac{40,3 \cdot 8}{1080 \cdot 2} \cdot 1,5 = 0,224 \text{ хв.}$$

Визначення допоміжного часу ($T_{доп}$):

Допоміжний час на одну операцію, що включає встановлення, закріплення, налаштування верстата тощо, визначається за відповідними таблицями норм часу [11]. Значення залежить від складності операції, маси деталі та типу обладнання, і зазвичай складає 1,5...4 хв залежно від умов.

015. Наплавлення

Процес нанесення покриття на деталі із сталі зазвичай здійснюється при дотриманні певних технологічних режимів, які забезпечують оптимальну

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якість наплавленого шару. Наплавлення деталей сталлю проводиться за такими умовами:

- Відстань від сопла до поверхні деталі становить 10–12 мм,
- Струм у ланцюгу електрод–виріб — 160–210 А,
- Струм у ланцюгу електрод–присадочна проволочка — 60–80 А,
- Робоча напруга — 30–40 В,
- Амплітуда коливань дуги або головки — 10–30 мм,
- Швидкість наплавлення — 3–5 м/год,
- Витрати плазмостворюючого газу — 90–120 л/год,
- Витрати захисного газу — 360–480 л/год,
- Витрати транспортуючого газу — 120–240 л/год.

Зі збільшенням швидкості подачі присадочної проволочки порушується стабільність дугового процесу. Це викликає появу струмів короткого замикання, які значно погіршують якість сформованого покриття, знижують його однорідність і можуть викликати дефекти поверхні.

Теплові напруги, які виникають у шарі металу під час його інтенсивного нагріву та наступного охолодження, зростають пропорційно товщині покриття, що наноситься, а також із збільшенням різниці коефіцієнтів теплового розширення між металами деталі та наплавленого шару. З цієї причини завжди намагаються підібрати присадочний матеріал, який має максимально наближені характеристики розширення до матеріалу деталі. Це дозволяє зменшити внутрішні напруги і запобігти тріщинам та деформаціям після охолодження.

Розрахунок основного часу операції:

Основний час наплавлення (T_0) визначається за формулою [11]:

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}$$

де:

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- L – довжина поверхні, яку наплавляють, в цьому випадку – товщина шару, $L = 0,53$ мм;
- i – кількість проходів, $i = 1$;
- n – кількість обертів деталі, $n = 3$ об/хв;
- S – крок наплавлення, $S = 1$ мм/об.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$T_o = \frac{0,53 \cdot 1}{3 \cdot 1} = 0,18 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

До допоміжного часу (T_B) включають час, необхідний для установки, зняття деталі, та налаштування інструменту:

- $T_{B1} = 1,0$ хв.
- $T_{B2} = 0,9$ хв.

$$T_B = T_{B1} + T_{B2} = 1,0 + 0,9 = 1,9 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_B = 0,18 + 1,9 = 2,08 \text{ хв.}$$

Додатковий час (на обслуговування, відпочинок тощо):

$$T_{дод} = T_{оп} \cdot \frac{K}{100} = 2,08 \cdot \frac{15}{100} = 0,31 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час:

$$T_{ПЗ} = 15 \text{ хв.}$$

Загальна норма часу на виконання операції:

$$T_H = T_o + T_B + T_{дод} + \frac{T_{ПЗ}}{n} = 0,18 + 1,9 + 0,31 + \frac{15}{70} \approx 4,37 \text{ хв.}$$

020. Шліфування

При проведенні шліфування деталей, зокрема валів, припуск на попереднє шліфування встановлюється в межах $h = 0,3 \dots 1,0$ мм, що дещо

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує середню товщину цементованого шару. Це дозволяє повністю видалити тверді ділянки, а також усунути можливі поверхневі дефекти та забезпечити необхідний запас на остаточну обробку.

Розрахунок режимів шліфування виконується за методикою, прийнятою для чорнового шліфування, що дозволяє забезпечити продуктивність за збереження допустимої точності.

Розрахунок основного часу виконання операції

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i \cdot k_3}{n \cdot S_{\text{пр}}},$$

де:

L – довжина поверхні, що обробляється, з урахуванням врізання та перебігу інструменту:

$$L = l + y,$$

де l – довжина шліфованої поверхні (мм), y – припуск на врізання,

$$y = 0,45 \text{ мм};$$

i – кількість проходів, i = 8;

k₃ – коефіцієнт зворотного ходу (враховує зворотні переміщення), приймаємо k₃ = 1,5;

n – оберти деталі, n = 1080 об/хв;

S_{пр} – повздовжня подача, S_{пр} = 2 мм/об.

Для першої поверхні:

$$L_1 = 80 + 0,45 = 80,45 \text{ мм}; \quad T_{o1} = \frac{80,45 \cdot 8 \cdot 1,5}{1080 \cdot 2} \approx 0,3 \text{ хв.}$$

Для другої поверхні:

$$L_2 = 40 + 0,45 = 40,45 \text{ мм}; \quad T_{o2} = \frac{40,45 \cdot 8 \cdot 1,5}{1080 \cdot 2} \approx 0,15 \text{ хв.}$$

Допоміжний час

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Визначається як сума часу на установку/зняття деталі ($T_{в1}$) та власне допоміжних рухів при шліфуванні ($T_{в2}$):

Для першої поверхні:

$$T_{в1} = 0,2 \text{ хв}; \quad T_{в2} = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ хв.}; \quad T_{в} = 0,2 + 1,3 = 1,5 \text{ хв.}$$

Для другої поверхні:

$$T_{в2} = 1,0 + 0,15 = 1,15 \text{ хв.}; \quad T_{в} = 0,2 + 1,15 = 1,35 \text{ хв.}$$

Оперативний час (сума всіх основних та допоміжних):

$$T_{оп} = T_{о1} + T_{в1} + T_{о2} + T_{в2} = 0,3 + 1,3 + 0,15 + 1,35 = 3,10 \text{ хв.}$$

Додатковий час:

Враховує втрати на обслуговування робочого місця та непродуктивні витрати:

$$T_{дод} = \frac{T_{оп} \cdot K}{100} = \frac{3,1 \cdot 9}{100} = 0,28 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час:

$T_{пз} = 5 \text{ хв.}$ (приймаємо постійним згідно з нормативами)

Визначення партії деталей:

Для визначення розміру партії використовуємо формулу:

$$n = \frac{N}{A},$$

де:

N – річна програма випуску деталей ($N = 1800 \times 2 = 3600 \text{ шт.}$),

A – кількість запусків на рік, приймається рівною кількості тижнів =

52.

$$n = \frac{3600}{52} \approx 70 \text{ деталей у партії}$$

Норма часу виконання операції:

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{н}} = T_o + T_{\text{в}} + T_{\text{дод}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n} = 0,3 + 0,15 + 1,5 + 1,35 + 0,28 + \frac{5}{70} \approx 3,59 \text{ хв.}$$

025. Напилення.

Покриття деталей сталлю, як правило, здійснюється при дотриманні таких техніко-технологічних режимів, що забезпечують високу якість та ефективність процесу. Оптимальна відстань від сопла плазмотрона до оброблюваної поверхні деталі складає 250...350 мм, що забезпечує необхідну стабільність дуги та формування рівномірного шару металу.

Тиск стисненого газу, що подається для утворення плазми, підтримується на рівні 0,6 МПа, що дозволяє створювати достатню кінетичну енергію для переміщення іонізованого потоку.

Сила струму в електричному ланцюгу між електродом і соплом становить 200...220 А, що забезпечує стійке горіння дуги. При цьому робоча напруга підтримується в межах 270...380 В, що є оптимальним для створення ефективного теплового впливу на поверхню.

Швидкість наплавки, залежно від складності та конфігурації деталі, становить 4–5 м/хв, що дозволяє досягати високої продуктивності при збереженні необхідної якості.

Витрати плазмостворюючої газової суміші, яка зазвичай включає повітря у поєднанні з пропан-бутаном, становлять 4,2...15,0 м³/год. Така газова суміш забезпечує хорошу іонізацію, стійкість плазмового струменя та рівномірне розплавлення присадочного матеріалу.

Витрати проволочи, яка використовується як присадковий матеріал, встановлюються в межах 8...12 кг/год, залежно від умов конкретної операції, типу сталі та товщини наплавлюваного шару.

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), який характеризує економічну ефективність процесу наплавки, варіюється в межах 60...80%. Це

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

означає, що більша частина матеріалу проволочки безпосередньо переходить у наплавлений шар, а решта втрачається у вигляді бризок, шлаків або випарів.

Час на виконання операцій:

$$T_1 = 5 \times 0,4 = 2 \text{ хв}$$

$$T_2 = 5 \times 0,8 = 4 \text{ хв}$$

Таблиця 2.1 - Режим плазово-дугового напилення

Матеріал деталі	Сталь
Наплавлений матеріал	Сталь
Швидкість кутова обертання деталі, м/хв	до 8
Повздовжня подача плазмотрона, мм/об	20...50
Відстань від сопла плазмотрона до деталі, мм	250...350
Струм в ланцюгу електрод-сопло, А	200...220
Напруга, В	270...380
Товщина шару покриття, мм	0,1...4

030 Механічна обробка.

Для забезпечення заданого розміру деталі, точності геометрії та отримання чистої якісної поверхні після напилення або наплавлення, шар покриття обов'язково піддають подальшій механічній обробці. Здебільшого це точіння або шліфування з високою точністю, які дозволяють отримати бажані параметри шорсткості та розмірів.

Для забезпечення міцного зчеплення напиленого або наплавленого шару з основним металом, а також для досягнення довговічної та стабільної роботоздатності деталі у процесі експлуатації, важливо, щоб після завершальної обробки товщина покриття становила не менше 1 мм, особливо у випадку, коли діаметр оброблюваної деталі складає 25 мм і більше.

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 - Режими механічної обробки при шліфуванні зовнішніх поверхонь цапфи

Діаметр шліфувального круга, мм	600
Товщина шліфувального круга, мм	63
Діаметр заготовки, мм	25...70
Глибина різання, мм/хід	0,0125
Припуск на сторону, мм	1,0
Швидкість заготовки, м/хв	12
Частота обертання заготовки, об/хв	153...64
Швидкість шліфувального круга, м/с	34
Частота обертання круга, об/хв	1080
Повздовжня подача, мм/об	18,9
Швидкість повздовжнього ходу стола, м/хв	2,9...1,2
Довжина ходу стола, мм	16
Коефіцієнт точності	1,2
Потужність різання, кВт	5,2
Основний час, хв	0,53...1,28
Штучний час, хв	1,06...2,56

У випадку плазмового-дугового напилення (особливо при тонкошарових покриттях) припуск на механічну обробку є мінімальним і може складати лише 0,03 – 0,06 мм, що пов'язано з точністю самого методу напилення та якістю одержаного шару. Для плазмової наплавки, де шар значно товщий, припуск зазвичай складає від 0,4 до 0,9 мм, залежно від вимог до готового виробу. У разі грубої попередньої наплавки максимальний припуск може досягати 1,5 – 2 мм на сторону, особливо якщо планується подальша чистова обробка.

Під час призначення режимів для шліфування або точіння після наплавлення слід також враховувати спосіб попередньої підготовки поверхні під наплавку, оскільки це впливає на зчеплення покриття. При обробці деталей з підвищеною швидкістю різання, як показує практика, ймовірність відшарування шару мінімальна, тобто швидкість різання має незначний вплив на цілісність наплавленого матеріалу, але все ж вимагає дотримання рекомендованих параметрів.[4, 10-19]

Час виконання операції шліфування розраховуємо так:

$$0,0125 \times 2 + 12 \times 0,4 + 12 \times 0,8 + 0,53 + 1,06 = 0,025 + 4,8 + 9,6 + 0,53 + 1,06 = 16 \text{ хв}$$

035. Хіміко-термічна обробка.

Хіміко-термічна обробка сталі полягає у комплексному впливі температури та хімічного середовища і заключається у цілеспрямованій зміні хімічного складу поверхневих шарів виробу з метою суттєвого підвищення їхньої твердості, зносостійкості або надання підвищеної антикорозійної стійкості у складних умовах експлуатації.

До основних способів такої обробки належать цементация (насичення поверхні вуглецем), азотування (впровадження азоту в кристалічну ґратку), ціанування, хромування, борування та інші методи, які застосовуються залежно від вимог до механічних, хімічних та фізичних властивостей поверхні деталі.

Хіміко-термічна обробка дозволяє змінити структуру лише поверхневого шару, залишаючи основний об'єм сталі з бажаною в'язкістю та міцністю, що особливо важливо для деталей, які зазнають змінних навантажень.

Цементация є одним із найдавніших і широко застосовуваних способів підвищення поверхневої твердості конструкційної сталі. Вона полягає у насиченні м'якої низьковуглецевої сталі вуглецем і ґрунтується на здатності заліза (Fe) розчиняти вуглець у своїй аустенітній структурі при високих

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурах. Сталь, що підлягає цементації, повинна бути нагріта до температури вище 910 °С і введена в активну взаємодію з вуглецевмісним середовищем.

Речовини, які є джерелом вуглецю під час цього процесу, називають карбюризаторами. Цементация може здійснюватися із застосуванням твердих, рідких або газоподібних карбюризаторів залежно від типу обладнання, виробу та бажаної глибини насиченого шару.

Газова цементация, як найефективніший метод, проводиться в спеціальних термопечах шляхом насичення поверхні сталі вуглецем, що виділяється з активних газових сумішей, таких як CH_4 , C_mH_n , CO та інші вуглеводні. Для цього використовуються як природні горючі гази, так і ті, що отримані в результаті піролізу гасу, піробензолу та інших речовин, що при термічному розкладі утворюють активні компоненти для цементації.

Останнім досягненням у цій технологічній галузі є розробка інноваційного способу газової цементації із використанням струмів високої частоти (СВЧ-нагрів). Такий підхід дозволяє отримати цементований шар глибиною до 1 мм всього за 30 хвилин, що значно скорочує виробничий цикл. Ця установка є повністю автоматизованою і використовується, зокрема, для обробки шестерень автомобільних трансмісій.

Після завершення процесу цементації, незалежно від його виду, деталь обов'язково піддається термічній обробці — гартуванню, зазвичай при температурі 760 °С. У деяких випадках застосовують подвійну термообробку: перше гартування при 920 °С для зменшення зерна серцевини та подальше нагрівання до 760 °С для гартування поверхні. При газовій цементації деталі часто безпосередньо з печі передаються до зони гартування, що дозволяє скоротити технологічний час і підвищити якість зміцненого шару.

040. Технічний контроль покриття.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Технічний контроль якості покриття проводиться на кількох етапах: під час підготовки поверхні деталі до наплавлення, у процесі безпосереднього нанесення наплавленого шару, а також після завершення обробки різанням наплавленої або напиленої деталі. Основними критеріями якісного наплавлення вважаються дрібнозерниста однорідна структура наплавлюваного металу, рівномірність нанесення шару та висока міцність зчеплення між наплавленим шаром і основним матеріалом деталі. Якісно наплавлений покривний шар повинен мати вигляд рівномірного, матового покриття, подібного до тонкого наждачного полотна.

Перевірка деталей після нанесення покриття зазвичай полягає у замірюванні товщини сформованого шару. Це здійснюється шляхом порівняння геометричних розмірів деталі до нанесення покриття та після нього. Додатково контролюється зовнішній вигляд поверхні — її оглядають через збільшувальну лупу і зіставляють з еталонним зразком, щоб виявити можливі дефекти, тріщини, пористість чи сторонні вclusions.

Міцність зчеплення шару з основою перевіряється найпростішим способом — легким постукуванням дерев'яним молотком по поверхні деталі. За наявності якісного з'єднання жодного відшарування або тріщин виникати не повинно.

Час, необхідний на виконання технічного контролю, в середньому приймається рівним 5 хвилинам, проте в окремих випадках може коригуватись залежно від складності деталі та методу нанесення покриття.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Норма часу на проведення технологічних операцій запропонованого технологічного процесу відновлення поворотного кулака (цапфи) передньої балки тролейбуса ЗиУ-6

Запропонований технологічний процес	
номер та найменування операції	норма часу
005. Миття та очищення деталі.	16
010. Підготовка деталі під напилення	4,09
015. Наплавлення	4,37
020 Шліфування	3,59
025. Напилення.	6
030 Механічна обробка.	16
035. Хіміко-термічна обробка.	30
040. Технічний контроль покриття.	5

Загальний час на відновлення однієї плунжерної пари запропонованим способом, складає – 85,05 хв., - 1,42 люд-год.

2.4 Контроль якості відновленої деталі включаючи оцінку зносостійкості

Технічний контроль здійснюють на всіх основних етапах: при підготовці поверхні деталі до наплавлення, безпосередньо в процесі нанесення покриття, а також після остаточної механічної обробки, наприклад різанням або шліфуванням, вже напавленої деталі. Основним показником якісного наплавлення вважається дрібнозерниста, рівномірна структура напавлюваного металу та висока міцність зчеплення нанесеного шару з основною поверхнею деталі.

Якісно наплавлений шар повинен мати зовнішній вигляд рівного, тонкого наждачного полотна без видимих дефектів, таких як вздуття, тріщини, раковини або інші механічні пошкодження, які можуть негативно вплинути на подальшу експлуатацію деталі.

Перевірка деталей після завершення покриття зазвичай полягає у замірюванні товщини шару шляхом порівняння геометричних розмірів деталі до нанесення покриття та після нього. Також виконується контроль зовнішнього вигляду поверхні за допомогою оптичного інструменту (лупи) та порівняння з еталонним зразком. Міцність зчеплення покриття з основним металом перевіряють методом легкого постукування дерев'яним молотком — при якісному виконанні жодних тріщин або відшарувань не повинно виникати.

Вплив технологічних факторів на властивості наплавленої деталі

До основних технологічних факторів, які мають суттєвий вплив на якість наплавленого покриття, належать: фізичні властивості, форма та орієнтація наплавленої поверхні; спосіб її попередньої механічної або хіміко-технічної підготовки; хімічний склад і властивості розпилюваного або наплавлюваного металу; джерело тепла, яке використовується для розплавлення металу, та тип застосованого апарату.

Також мають значення параметри: тиск стисненого повітря або іншого газу, електричний струм і робоча напруга, швидкість подачі присадочного матеріалу (проволоки або порошку), відстань від зони розплавлення до оброблюваної поверхні, кут нахилу струменя, тривалість наплавлення, а також температура наплавлюваної поверхні.

Основними експлуатаційними властивостями, які залежать від зазначених факторів, є: ступінь пористості, механічні характеристики (міцність, пружність, твердість), опір до зношування, адгезія до основного металу та корозійна стійкість.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наплавлені шари зазвичай мають незначну пористість — її значення коливається в межах 0,8–1,4%. Пори можуть бути як закритими, так і наскрізними, особливо при малій товщині шару. Проте в обох випадках пористість відчутно впливає на важливі фізико-механічні властивості покриття: його пружність, міцність, твердість, теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення.

Термічна обробка наплавленого металу, яка викликає структурні зміни в його внутрішній будові, сприяє підвищенню густини матеріалу завдяки зменшенню кількості пор, а також частковому відновленню структурної однорідності шару. Це значно покращує експлуатаційні властивості деталі в умовах навантаження та зносу.

Механічні властивості, зокрема твердість, границя міцності, пластичність та інші параметри наплавлених металів, помітно відрізняються від властивостей вихідних, тобто основних металів. Зазвичай у наплавленому металі спостерігається зниження границі міцності, дещо зменшена пластичність, а твердість, навпаки, помітно зростає. Такі зміни обумовлені специфікою процесу наплавлення, характером сил міжчастинкового зчеплення та структурними змінами, що виникають внаслідок інтенсивного окислення, утворення нових фаз, неоднорідності структури та появи пористості в наплавленому шарі.

Механічні характеристики значною мірою залежать від правильно підібраних параметрів технологічного процесу. Найбільш міцні, а також тверді шари формуються за умов тиску газу на рівні 0,6–0,7 МПа, при невеликих відстанях (близько 8–10 мм) від зони плавлення до поверхні наплавлення та при струмі, що дорівнює 70 А.

При спільній роботі наплавленого покриття з основним металом в конструкції виявляється низка позитивних властивостей. Наплавлений шар ефективно знижує піки напружень в основному матеріалі, що в підсумку підвищує опір елементів до втомного руйнування. У разі виникнення тріщин

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у самому наплавленому шарі вони не викликають значної концентрації напружень, що знижує ймовірність подальшого поширення руйнування.

Через значно меншу пластичність наплавленого шару в порівнянні з основним металом, під час роботи до границі пружності саме цей шар сприймає значну частку загального навантаження і, відповідно, вичерпується (руйнується) першим. Через це у більшості випадків опір втомлюваності деталей із наплавленим покриттям виявляється нижчим, ніж у аналогічних деталей без покриття. Головним фактором, що визначає величину опору втомлюваності, є спосіб та якість підготовки поверхні перед наплавленням.

Специфічна мікроструктурна будова наплавленого шару надає йому високих фрикційних властивостей. Завдяки неоднорідності структури, мікрошорсткості, наявності дрібних заглиблень і мікропор шар ефективно виконує функцію тертя, забезпечуючи надійне зчеплення та стабільність при експлуатації в умовах ковзання.

Технологічні параметри процесу значно впливають на зносостійкість сформованих шарів. Зокрема, при збільшенні відстані від зони плавлення до поверхні в межах 75–100 мм опір зношуванню зростає. Зносостійкість також суттєво підвищується зі збільшенням робочого тиску до 5–6 атм та зростанням вмісту вуглецю в наплавленому металі. Проте якщо відстань від зони плавлення перевищує 100 мм, а також при надмірному підвищенні сили струму, робочої напруги та надмірному нагріванні поверхні в процесі наплавлення — зносостійкість помітно зменшується.

Міцність зчеплення наплавленого шару з основним металом визначається як відношення зусилля, необхідного для відриву шару, до площі з'єднання (вимірюється у кгс/см² або кгс/мм²). Цей показник є критично важливим, оскільки він визначає можливість застосування покриття в різноманітних умовах експлуатації, зокрема при високих навантаженнях, терті та змінних температурах.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міцність зчеплення наплавленого шару значно збільшується зі зменшенням розмірів наплавлених частинок, з покращенням очищення повітря в зоні процесу, а також зі зменшенням відстані між наплавлюваною поверхнею та зоною плавлення. Додатково сприяє покращенню зчеплення збільшення ступеня шорсткості попередньо підготовленої поверхні, що створює сприятливі умови для механічного захоплення та закріплення частинок на металі-основі.

Із зростанням вмісту вуглецю в сталевому дроті, який використовується для наплавлення або розпилення, спостерігається зменшення міцності зчеплення. Це пов'язано з утворенням твердих і крихких фаз, які погіршують адгезію. Підігрів наплавлюваної поверхні до температури близько 100 °С суттєво покращує зчеплення, оскільки зменшується температурний градієнт між металом основи та наплавленим шаром, а також знижується напруга, яка виникає внаслідок охолодження.

Використання розпилювального повітря при тиску менше 1 атм або більше 6 атм призводить до суттєвого зниження міцності зчеплення шару. У першому випадку це обумовлено збільшенням розміру частинок та зменшенням їх кінетичної енергії через малу швидкість руху. У другому випадку – надмірний тиск спричиняє значне відбивання частинок від поверхні, через що вони не встигають якісно приєднатися до основного металу.

Для забезпечення оптимального рівня міцності зчеплення наплавленого шару зазвичай рекомендується працювати при тиску повітря в межах 4–5 атм та витримувати відстань від зони плавлення до поверхні, що обробляється, у межах 75–100 мм. Такий діапазон параметрів забезпечує ефективне закріплення частинок і створення щільного, зносостійкого покриття, придатного для подальшої експлуатації в складних умовах.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Призначення, принцип роботи пристрою для випресування шворнів з ручним приводом

Пристрій для випресування шворнів вантажних автомобілів і тролейбусів із ручним приводом призначений для ефективного та безпечного випресування шворнів поворотних цапф передньої осі вантажних автомобілів, а також тролейбусів (наприклад, моделі ЗІУ-9), без необхідності знімати саму вісь із транспортного засобу. Це значно спрощує процес технічного обслуговування та поточного ремонту, дозволяючи економити час і трудові ресурси.

Завдяки простій, надійній та ергономічній конструкції, пристрій може з успіхом використовуватись безпосередньо на автотранспортних підприємствах, в майстернях, а також на станціях технічного обслуговування вантажної та великогабаритної техніки. Його застосування забезпечує мінімальне втручання у конструкцію вузлів і дозволяє уникнути пошкоджень під час демонтажу шворнів, що є особливо важливим для подальшої експлуатації та ресурсу агрегатів.

Технічна характеристика зведена в таблицю.

Таблиця 3.1. - Технічна характеристика пристрою ПВШ-50.

Показчик	Характеристика
Тип	Пересувний
Вид привода	Гідравлічний, двоступінчастий, ручний
Максимальне зусилля випресування, Н (кгс), не більше	490000, (50000)

Номинальний тиск, МПа (кгс/см ²), не більш вищої ступені нижчої ступені	25 (225) 4,8 (50)
Максимальне зусилля на рукоятці, Н (кгс), не більше	245(25)
Хід штока , мм , не більше	160
Зусилля переміщення пристрою по рівній підлозі з покриттям, Н (кгс), не більше	294 (30)
Робоча рідина , що рекомендується	Масило індустріальне І 20А
Місткість бака, л, не більше	7
Габаритні розміри, мм, не більше Довжина Ширина Висота	1020 510 870
Маса пристрою без робочої рідини, кг, не більше	128

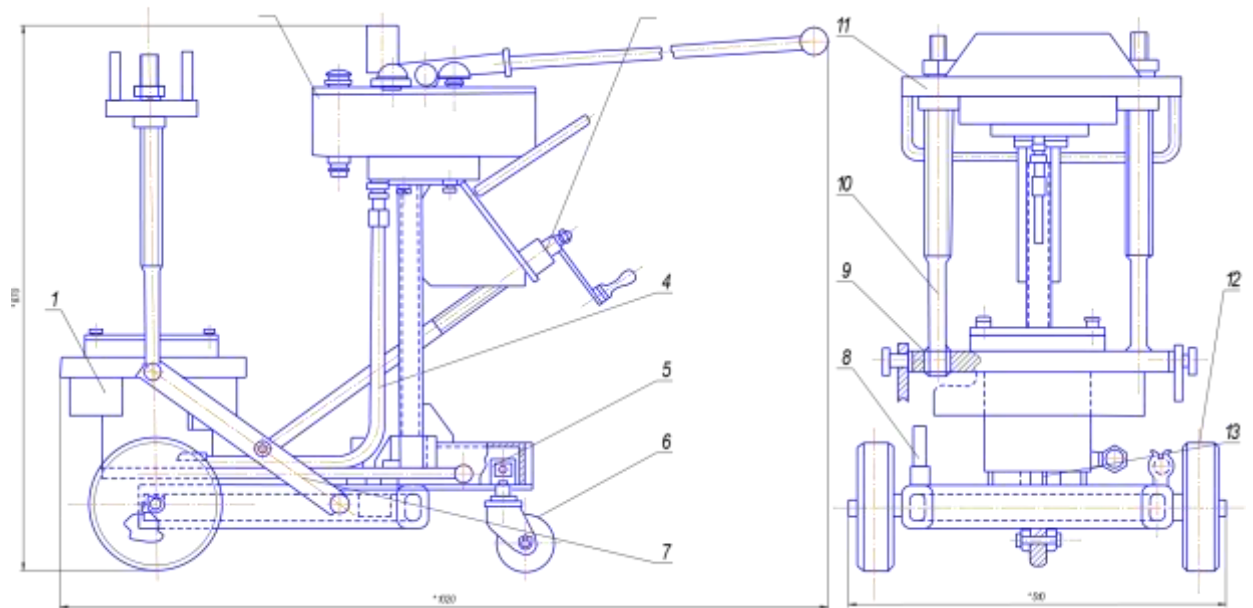


Рис. 3.1. Вигляд пристрою для демонтажу шкворнів

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.2. Пристрій для демонтажу під час роботи

Пристрій (рис. 3.1) для випресовування шворнів складається з гідроциліндра (1) з вмонтованим плунжерним насосом (2), які надійно закріплені на жорсткому каркасі (5) візка з мобільною конструкцією.

На гідроциліндрі (1) змонтований спеціальний знімач, який включає в себе нижню траверсу (9), закріплену безпосередньо на корпусі гідроциліндра, та верхню траверсу (11), які надійно з'єднані між собою за

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою шпильок (10). Така конструкція забезпечує рівномірний розподіл навантаження під час демонтажу шворнів.

Каркас (5) встановлений на трьох колесах: двох стандартних опорних колесах (12) та одному рояльного типу колесі (6), яке полегшує маневрування пристрою.

На каркасі також знаходиться механізм підйому (3), оснащений двома тягами (7), що дозволяє зручно регулювати висоту розміщення гідроциліндра відповідно до положення шворня.

Додатково передбачена надставка (8) та дві скоби (13), які встановлюються в гніздах на каркасі (5) і виконують функцію допоміжного фіксатора.

Гідроциліндр (1) з'єднується із насосом за допомогою шланга високого тиску (4), що витримує значні навантаження.

Гідроциліндр (рис. 2) є однобічної дії. У його склад входять: циліндр (1), шток (2), штуцер (3), поршень (4), пружина повернення (5) та кришка (6). Ця конструкція дозволяє реалізувати потужне, але контрольоване зусилля.

Плунжерний насос (рис. 3.1) включає два блоки плунжерів (1 і 2) — для вищого і нижчого ступенів тиску — змонтовані в бак (3).

На кришці насоса розміщені контрольний манометр (4) та вентиль скидання тиску (5) для забезпечення безпеки та стабільності роботи.

Плунжер (8) розміщений у гільзі (7), яка підключена до блоку клапанів (9). Блок складається з всмоктувального клапана (10) та нагнітального клапана (11).

Зворотньо-поступальний рух плунжерів (8) виконується за допомогою з'ємної рукоятки (6), що дозволяє зручно створювати тиск вручну.

Блок плунжерного насоса (1) відповідає за вищу ступінь тиску, здатний розвивати до 25 МПа (255 кгс/см²) при зусиллі на рукоятці 245 Н (25 кгс).

Блок плунжерного насоса (2) створює нижчу ступінь тиску – 4,8 МПа (50 кгс/см²) за того ж зусилля.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізм підйому виконує функцію підняття або опускання гідроциліндра для точного позиціонування пристрою відносно осі шворня.

Принцип роботи пристрою полягає в наступному: зусилля, створене гідроциліндром, яке приводиться в дію ручним насосом, передається безпосередньо на шворінь поворотної цапфи. Реактивна сила при цьому сприймається системою із двох траверс — нижньої (жорстко закріпленої на гідроциліндрі) та верхньої, з'єднаних між собою шпильками. Під час випресування шворня цапфа розміщується між цими двома траверсами, що забезпечує правильну геометрію навантаження і точність операції.[4, 10]

3.2. Модернізація приводу

У процесі тривалої експлуатації пристрій для випресовування шворнів вантажних автомобілів та тролейбусів з ручним приводом моделі ПВШ-50 поступово виявляє низку недоліків, які негативно впливають на його ефективність, продуктивність та надійність роботи.

Зокрема, під час тривалої безперервної експлуатації спостерігається зниження жорсткості приводу гідроциліндра, що з часом призводить до зменшення точності передавання зусилля. Також має місце вихід з ладу кришки гідроциліндра, що викликає додаткові простой та потребу в технічному обслуговуванні або заміні.

Ці недоліки були виявлені і підтверджені безпосередньо персоналом, який регулярно обслуговує та експлуатує дане обладнання на практиці. Вони вказують на необхідність вдосконалення конструкції для забезпечення її більшої надійності та довговічності.

З огляду на вищезазначене, виконується перевірочний розрахунок гідроциліндра та тяг приводу, щоб підтвердити їх відповідність експлуатаційним навантаженням і виявити шляхи підвищення їх ресурсу.

З метою підвищення загальної жорсткості приводу, а також зменшення деформацій під дією робочих навантажень, запропоновано змінити переріз

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тяг приводу. Замість використання плоских листових смуг, що мають меншу опірність вигину, раціонально застосувати коробчастий переріз, який забезпечує значно вищу жорсткість при незначному збільшенні металоємності та маси конструкції.

Ця зміна незначно вплине на загальну вагу пристрою, але суттєво покращить його механічні характеристики, зокрема стійкість до навантажень і довговічність у щоденному використанні в умовах підвищеного зносу.

3.3 Розрахунок гідроциліндра одnobічної дії

Вихідні дані для розрахунку:

Максимальний робочий тиск мастила становить 25 МПа — згідно з технічними даними та паспортом пристрою ПВШ-50.

Максимальне зусилля, яке виникає на шпонці, дорівнює 490 000 Н.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) гідроциліндра приймається рівним $\eta = 0,9$, що відповідає стандартним умовам ефективної роботи системи.

Формула для визначення сили на шпонці:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta$$

де:

Q — сила на штоку гідроциліндра, Н;

D — діаметр поршня гідроциліндра, м;

p — тиск мастила на поршень, Па;

η — ККД гідроциліндра;

Q1 — сила опору стиснутої пружини, Н.

Задаючись відомим значенням тиску мастила, визначаємо необхідну площу поршня:

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{Q}{p \cdot \eta}$$

Площа поршня дорівнює:

$$F = \frac{490000}{25 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 2,178 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Тоді визначаємо діаметр поршня з формули:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,178 \cdot 10^{-3}}{3,1416}} = 0,0527 \text{ м} = 160 \text{ мм}$$

Отже, остаточно приймаємо діаметр поршня гідроциліндра рівним 160 мм, що забезпечує необхідне зусилля при зазначених параметрах тиску та ККД. Цей розрахунок підтверджує відповідність конструкції робочим навантаженням і дозволяє забезпечити стабільну та надійну роботу пристрою під час експлуатації.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розрахунок шляхів тертя та швидкостей ковзання

Для визначення шляху тертя і середньої швидкості ковзання необхідно спочатку встановити число обертів колеса за певний відрізок часу.

У разі корозійного зносу амплітуда переміщень з проковзуванням є відносно невеликою й зазвичай не перевищує 0,2 мм. При подальшому зростанні амплітуди переміщення настає односторонній абразивний знос, що пришвидшує руйнування поверхні контакту.

Для розрахунків шляхів тертя приймаємо амплітуду переміщення рівною 0,15 мкм, отже, повний шлях тертя за один цикл складе 0,3 мкм.

Приймається, що кількість циклів дорівнює кількості повних обертів колеса, які виникають під час експлуатації.

Виходячи із середнього місячного пробігу тролейбуса $N_1 = 4500$ км, та враховуючи, що середній термін служби вузла тертя становить близько 6 місяців, обчислюємо загальний пробіг до моменту граничного зносу. Він становитиме:

$$4500\text{км} \times 6 = 27000\text{км} = 27000000\text{м}$$

Зовнішній діаметр колеса тролейбуса приймаємо рівним 1070 мм, тобто 1,07 м. Тоді довжина кола (одного оберту колеса) дорівнює:

$$l = \pi d = 3,14 \times 1,07 = 3,36\text{м}$$

Кількість обертів колеса за весь термін служби вузла:

$$n = \frac{27\,000\,000}{3,36} \approx 8\,036\,000 \text{ обертів}$$

Початковий зазор у зоні тертя $\Delta = 16$ мкм = 0,016 мм. Загальний шлях тертя обчислюємо за формулою:

$$S = 2\pi\Delta N = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,000015 \cdot 8036000 \approx 2713\text{м}$$

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, сумарний шлях тертя при такому режимі експлуатації становить приблизно 2713 метрів.

Швидкість ковзання, залежна від фактичної швидкості руху тролейбуса, коливається в межах від 0 до 5 обертів на хвилину, що відповідає змінним умовам роботи транспортного засобу в міському циклі.

4.2 Розрахунок тисків що діють деталі

Вихідні дані для розрахунку:

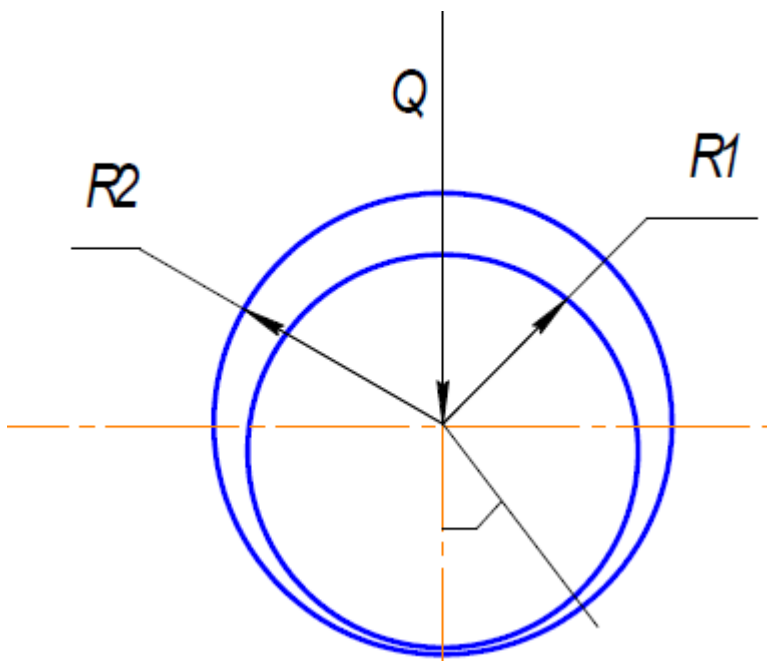


Рис. 4.1. - Схема навантаження на спряження типу Вал – Втулка

Радіуси:

$$R_1 = 27,484 \text{ мм,}$$

$$R_2 = 27,45 \text{ мм,}$$

$$R_3 = 34 \text{ мм}$$

Модулі пружності:

$$E_1 = 5,16 \times 10^5,$$

$$E_2 = 5,15 \times 10^5$$

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навантаження:

$$Q = 1760 \text{ кг}$$

Різниця радіусів:

$$R_1 - R_2 = 0,016 \text{ мм}$$

Закон розподілу контактних тисків $\sigma(\varphi)$ в межах кута контакту $0 \pm \varphi$:

$$\sigma(\varphi) = \frac{\Delta}{k_1 + k_2} \left(\frac{\cos\varphi}{\cos\varphi_0} - 1 \right)$$

Або в спрощеному вигляді:

$$\bar{\sigma}(\varphi) = \frac{\cos\varphi}{\cos\varphi_0} - 1,$$

де:

Δ — відносне зближення тіл,

k_1 і k_2 — коефіцієнти контактуючих тіл.

Максимальне значення контактного тиску при $\varphi = 0$:

$$\sigma_0 = \frac{\Delta}{k_1 + k_2} \left(\frac{1}{\cos\varphi_0} - 1 \right)$$

або скорочено:

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{1}{\cos\varphi_0} - 1,$$

де

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{\sigma_0(k_1 + k_2)}{\Delta}.$$

тобто сума максимальних контактних напружень для обох тіл у точці $\varphi = 0$.

Розподіл тисків виражений через контактні максимальні тиски:

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$\sigma(\varphi) = \sigma_0 \frac{\cos\varphi - \cos\varphi_0}{1 - \cos\varphi_0}.$$

Кут контакту $2\varphi_0$ визначається з рівняння:

$$\frac{Q(k_1 + k_2)}{R_2 \Delta} = \frac{\varphi_0}{\cos\varphi_0} - \sin\varphi_0$$

або

$$\bar{Q} = \frac{\varphi_0}{\cos\varphi_0} - \sin\varphi_0; \quad \bar{Q} \equiv \frac{Q(k_1 + k_2)}{R_2 \Delta}.$$

У залежності від необхідної точності рішення трансцендентного рівняння щодо кута контакту φ_0 можна виконувати такими способами:

- 1) з точністю до $\pm 1\%$ у діапазоні кута контакту $\varphi_0 = (10-70)^\circ$:

$$\varphi_0 = 1,13(\bar{Q})^{1/3} - 0,13\bar{Q};$$

- 2) чисельним методом рішення нелінійного рівняння на комп'ютері;

Усереднені коефіцієнти податливості кільцевого шару підшипника і вала визначаються за відповідними аналітичними залежностями, які враховують геометричні параметри контактуючих тіл, механічні характеристики матеріалів, а також умови навантаження в зоні контакту:

- 1) у випадку плоскої деформації (довга втулка $L \geq (R_3 - R_2) \approx R$):

$$k_2 = \frac{(1 - 2\mu_2)(1 + \mu_2) \left[\left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 - 1 \right] R_2}{E_2 \left[1 + (1 - 2\mu_2) \left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 \right]};$$

- 2) у випадку плоского напруженого стану (коротка втулка): $L \approx R_2 - R_3$

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_2 = \frac{(1 - \mu_2) \left[\left(\frac{R_3}{R_2} \right) - 1 \right] R_2}{E_2 \left[(1 + \mu_2) + (1 - \mu_2) \left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 \right]}$$

Усереднений коефіцієнт податливості для вала:

1) при $E_1 \gg E_2$, $k_1 = 0$;

2) для плоскої деформації:

$$k_1 = \frac{(1 - 2\mu_1)(1 + \mu_1)R_1}{E_1};$$

3) для плоского напруженого стану:

$$k_1 = \frac{(1 - \mu_1)R_1}{E_1}.$$

За наведеними розрахунковими залежностями знаходимо:

Коефіцієнти

$$k_1 = \frac{1}{2.1 \cdot 10^5} (1 - 2 \cdot 0.3) \cdot (1 + 0.3) \cdot 27.484 = 6.6 \cdot 10^{-5}$$

$$k_2 = \frac{(1 - 2 \cdot 0.3) \cdot (1 + 0.3) \cdot \left[\left(\frac{34}{27.45} \right)^2 \right]}{2.15 \cdot 10^5 \left[1 + (1 + 2 \cdot 0.3) \cdot \left(\frac{34}{27.45} \right)^2 \right]} = 1.8 \cdot 10^{-5}$$

Кут в спряженні

$$\varphi_0 = 1.13 \cdot \left(\frac{Q \cdot (k_1 + k_2)}{R_2 \cdot \Delta} \right)^{\frac{1}{3}} - 0.13 \cdot \left(\frac{Q \cdot (k_1 + k_2)}{R_2 \cdot \Delta} \right)$$

$$\varphi_0 = 1.13 \cdot \left(\frac{1760 \cdot (6.6 \cdot 10^{-5} + 1.8 \cdot 10^{-5})}{27.45 \cdot 0.016} \right)^{\frac{1}{3}} - 0.13 \cdot \left(\frac{1760(6.6 \cdot 10^{-5} + 1.8 \cdot 10^{-5})}{27.45 \cdot 0.016} \right) = 0.152$$

КОНТАКТНИЙ ТИСК

$$\sigma_0 = \frac{0.016}{6.6 \cdot 10^{-5} + 1.8 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{\cos 0.152} - 1 \right) = 0.759 \text{ кг/мм}^2$$

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

4.3. Розрахунки зношування поворотної цапфи

Для здійснення розрахункової оцінки зносу цапфи та внутрішнього кільця підшипника кочення їх доцільно розглядати як контактну пару тертя за аналогією з вузлом "підшипник ковзання – вал". У запропонованій моделі вал приймається умовно нерухомим, а підшипник ковзання виконує обертальні рухи навколо своєї осі. При цьому виникає мікропроковзування втулки по поверхні вала, яке зумовлене впливом змінних (циклічних) навантажень, прикладених до вузла.

Водночас із зазначеним мікропереміщенням має місце додаткове проковзування втулки, що значною мірою підсилює інтенсивність зношування як підшипника ковзання (втулки), так і валу, на поверхні якого спостерігається зворотно-поступальне переміщення втулки.

Описаний вище процес зношування об'єктів можна з високим ступенем точності інтерпретувати як фретинг-корозію з проковзуванням. У такому випадку доцільно побудувати розрахункову модель зносу, яка базується на механізмі фретинг-корозії під дією змінних механічних навантажень.

Методика включає в себе виведення базових розрахункових залежностей, аналітичне розв'язання задачі прогнозування зношування, а також знаходження очікуваної величини зносу в конкретних умовах експлуатації. Додатково передбачається визначення коефіцієнтів, необхідних для кількісної оцінки інтенсивності зношування, з урахуванням впливу контактної геометрії, властивостей матеріалів, умов тертя й навантаження.

1) контактний тиск $a(\varphi)$:

$$a(\varphi) = \frac{\Delta}{k_1 + k_2} \cdot (\cos\varphi_0 \cdot \cos\varphi - 1),$$

де $\Delta = R_2 - R_1$ радіальний зазор

2) дотичні зусилля $\tau(\varphi)$:

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau(\varphi) = \frac{\Delta}{k_{1r} + k_{2r}} (\sec \varphi_0 \cdot \cos \varphi - 1) \operatorname{tg} \varphi,$$

При використанні двох факторної моделі зносу отримаємо.

$$\frac{dU_{W2}}{dS_2} = K_W \cdot \sigma(\varphi) \cdot v_s(\varphi) \cdot S_2$$

або

$$U_W = K_W \cdot \sigma(\varphi) \cdot v_s(\varphi) \cdot S_2$$

При врахуванні попередніх розрахунків

$$U_{W2}(\varphi, n) = \frac{2ntK_W \Delta^2}{k_1 + k_2} (\sec \varphi_0 \cos \varphi - 1)^3 (\operatorname{tg} \varphi - f_{\xi}^{\prime})^2$$

Величину зносу U_W можна визначити за приведеною формулою:

$$U_W = K_W \cdot \sigma^m \cdot S_N$$

Для розрахунку поворотного кулака тролейбуса визначаємо коефіцієнти, а саме K_W і m . Ці коефіцієнти вибираються з довідника, або визначаються з експерименту. Для даної пари тертя:

для валу $K_W = 7.22-12 \quad m=1,66$

для кільця $K_W = 5.5-11 \quad m=1.78$

Підставляючи коефіцієнти K_W і m отримаємо значення зносу валу до ремонту відновленням:

$$U_W = 7.22 \cdot 10^{-12} \cdot 0.759^{1.66} \cdot 2713 = 1.239 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 123 \text{ мкм}$$

Знос внутрішнього кільця

$$U_W = 1.5 \cdot 10^{-11} \cdot 0.759^{1.78} \cdot 2713 = 2.491 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 249 \text{ мкм}$$

Якщо до наявних визначених величин додати відповідні розрахункові параметри, то можна отримати граничне значення зазору, при досягненні якого тертьова пара фактично виходить з ладу, і починається катастрофічне зростання інтенсивності зношування деталей. Така ситуація супроводжується різким погіршенням експлуатаційних характеристик з'єднання. Внаслідок

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подальшого збільшення зазору суттєво зростають ударні навантаження в зоні контакту, що, у свою чергу, призводить до повної відмови пари тертя і втрати її функціональної придатності.[4]

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						75
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі для підвищення довговічності поворотного кулака тролейбуса виконано наступне:

1. Розроблений технологічний процес відновлення деталей переднього моста тролейбуса.

2. Для полегшення процесу розбирання-збирання шворневого вузла вдосконалена конструкція спеціального пристрою для випресовування шворнів.

3. Підібрано обладнання для плазмового напилення або наплавлення цапф поворотного кулака тролейбуса.

4. В дослідницькому розділі проведені розрахункові дослідження зносостійкості сталевих шийок поворотного кулака тролейбуса.

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЯ

1. О.Л. Ляшук, Б.М. Гевко, І.Б. Гевко, Ю.І. Пиндус, В.М. Клендій, П.В. Босюк. Методичний посібник з виконання магістерської роботи за освітньо- кваліфікаційним рівнем бакалавр галузі знань 27 Транспорт спеціальності 274 Автомобільний транспорт – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2016. – 71 с.
2. Опір матеріалів. Приклади, задачі, розрахункові роботи: Навчальний посібник/ В.В. Ковтун, В.С.Павлов, О.А.Дорофєєв. - Хмельницький: ТУП, 1999.-248 с.
3. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Хмельницький: ТУП, 2002. – 151 с.
4. Дипломна робота на тему: «Проект ділянки ремонтного цеху для відновлення поворотних кулаків (цапф) передньої підвіски тролейбуса ЗиУ-6 з дослідженням параметрів моделі зношування пари тертя.».
5. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
6. Рудик О.Ю. Лекційний матеріал з курсу САПР ТП зміцнення. ХНУ. – 2004.
7. Кузьменко А.Г. Лекційний матеріал з курсу Основи наукових досліджень. ХНУ. – 2004.
8. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін.Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Житецького. – Львів, Афіша, 2000 – 352с.
9. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навчальний посібник / [А.Г. Фесенкота ін.]; Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2015. – 103 с.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Choong-Nyeon Park, Min-Ho Chang. Діяльність нікелевих тверджень на властивості металів hydride electrodes // J. of Alloys and compounds. 1995. № 231, pp. 846-851.
11. A. Turonova, M. Galova, L. Lux, M. Gal. Електрохімічні процеси під час пофарбування сталеї за Ni і Ni / Cu coating в fluidized bed // J. Solid State Elektrochem. 2001 №5, pp. 502-506.
12. Розовський Г І, Вяшкаліс А. І. Хімічне міднення. Вільнюс, РІНТІП, 1966. 60 с.
13. Yu Xingwen, Cao Chunan etc. Study double layer rare earth metal conversion coating on aluminum alloy LY12 // Corrosion Science. 2001 №43, pp. 1283-1294.
14. Zum Gahr K.-H. Microstructure and wear of materials. – Amsterdam : Elsevier, 1987. – 560 p.
15. Wang Y.-L. An analysis of the influence of plastic indentation on three-body abrasive wear of metals / Y.-L. Wang, Z.-S. Wang // Wear, 1988. – V.122. – N2. – P.123–133.
16. Beckmann G., Gotzmann J. Analytische Betrachtung zum Strahleverschleis von Metall // Schmierungstechnik. – 1979. – V.10. – N4. – S.104–107.
17. Spurr R.T. The nature of contact during abrasion // Wear. – 1981. – V.67. – N3. – P.375–379.
18. Torrance A. A. An explanation of the hardness differential needed for abrasion // Wear. – 1981. – V.68. – N2. – P.263–266.
19. Rohrig K. Abrasionsbestandige Eisengusswerkstoffe. – VDI-Z. – 1962. – 124. – N5. – P. 11–14, 17–20, 23–24.
20. Kassim S. Al-Rubaie. Equivalent hardness concept and two-body abrasion of iron-base alloys // Wear. – 2000. – V.243. – 1-2. – P. 92–100.

					<i>КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ</i>	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБАТТАМ 25. 21120.000. ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства**

Тема:

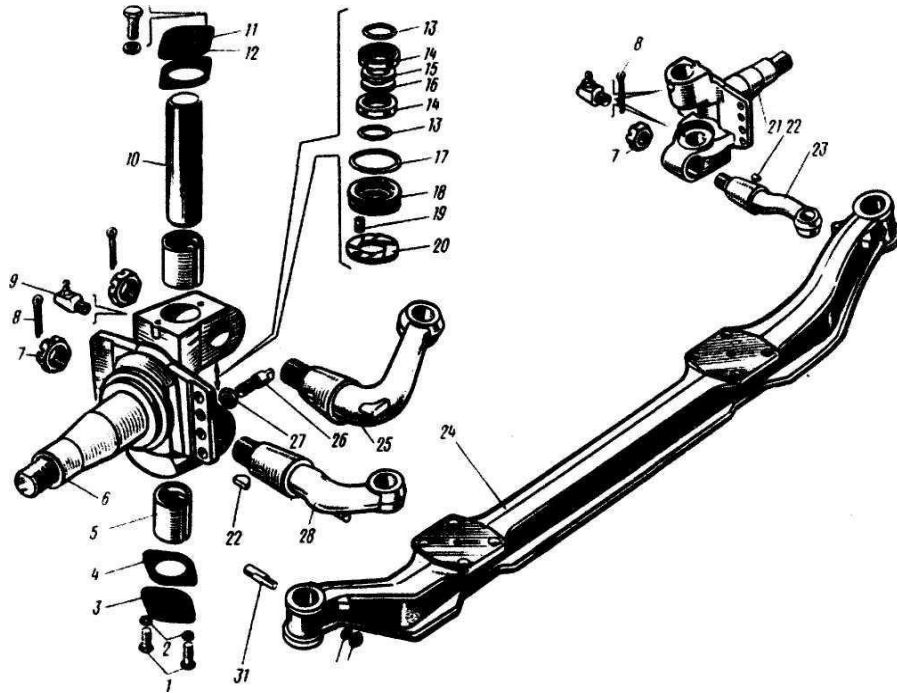
**Відновлення та дослідження зносостійкості деталей передньої
підвіски тролейбуса**

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Студент групи АТ -21-1 Товстюк Дмитро

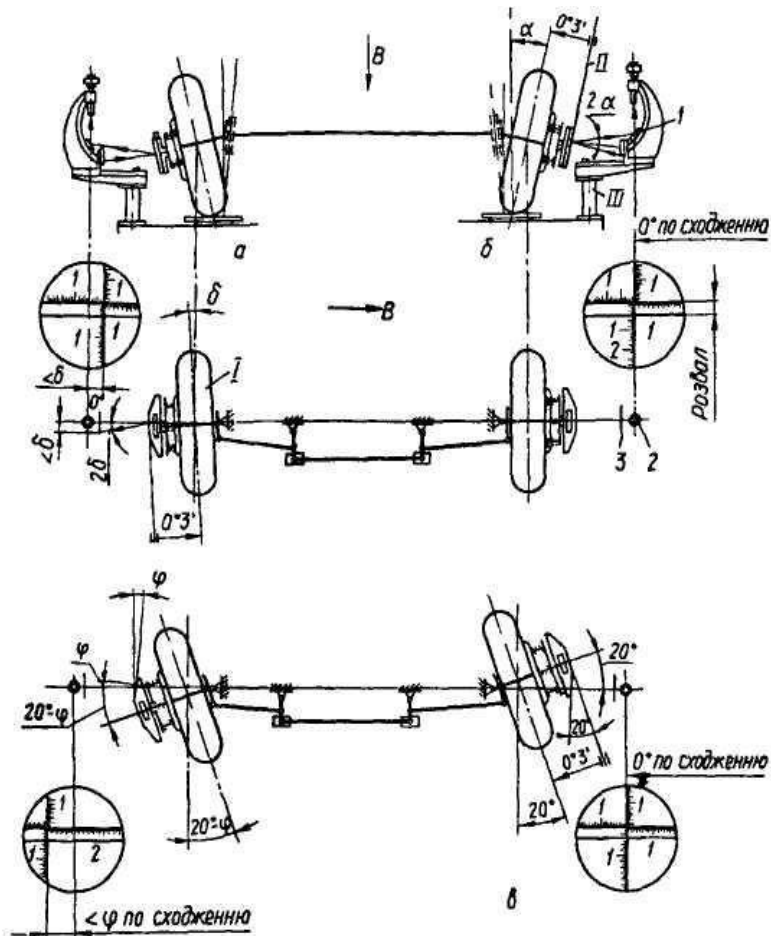
Керівник: доц. Гончар В.А.

Конструкція передньої вісі тролейбуса



1 – болт; 2,30 – пружинні шайби; 3 – кришка кулака (нижня); 4 – прокладка кришки; 5 – шкворня втулка; 6 – поворотної кулак передньої осі (лівий); 7,27,29 – гайки; 8 – розвідний шплінт; 9 – масляонка; 10 – шкворінь; 11 – клапан запобіжний; 12 – кришка поворотного кулака (верхня); 13 – кільце ущільнююче; 14 – обойма сальника; 15 – шайба кулака; 16 – регулювальна шайба; 17 – півкільце сальника; 18 – кільце опорного підшипника; 19 – штифт; 20 – шайба опорного підшипника; 21 – кулак поворотний (правий); 22 – сегментна шпонка; 23 – важіль поворотного кулака до тяги рульової трапеції (правий); 24 – балка передньої осі; 25 – важіль поворотного кулака механізма; 26 – упор поворотного кулака; 28 – важіль поворотного кулака (лівий)

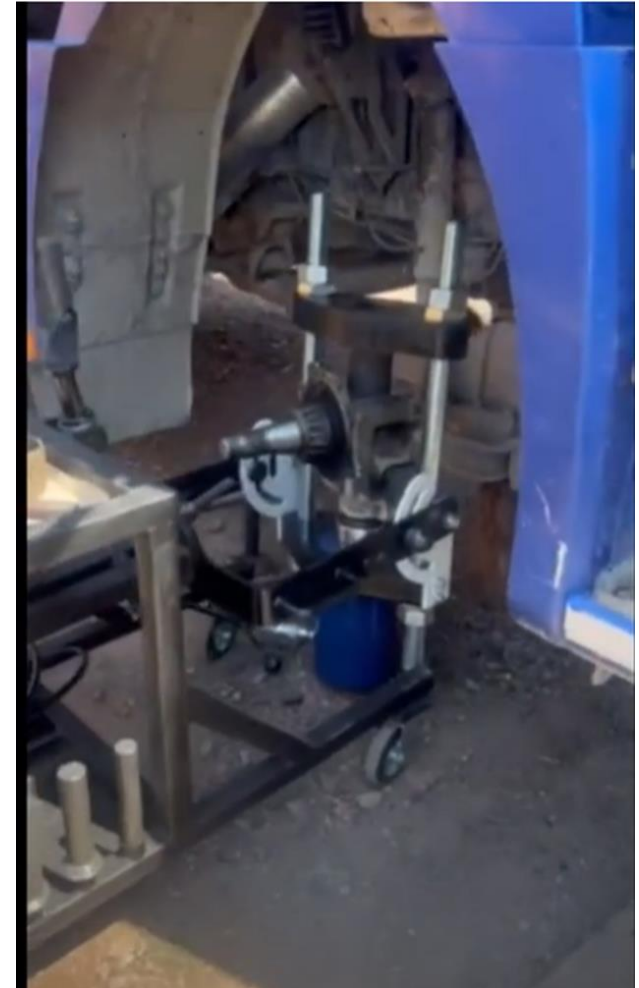
Технічне обслуговування передньої підвіски



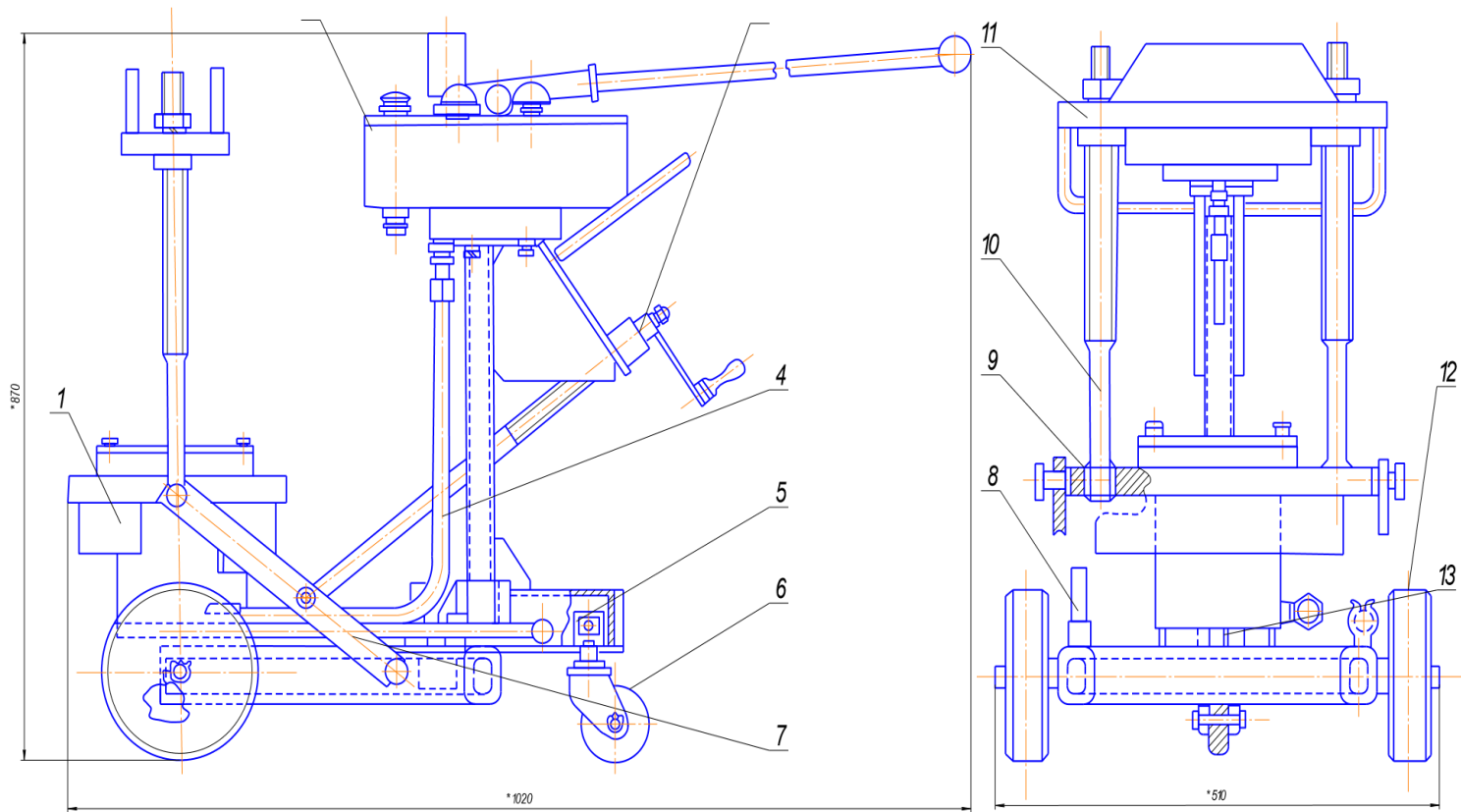
а — визначення сходження коліс; б — визначення розвалу коліс; в — визначення співвідношення і кутів повороту коліс; I — площина обертання колеса; II — площина дзеркала колеса; III — площина шкали; 1 — дзеркало мікроскопа; 2 — окуляр мікроскопа; 3 — шкала мікроскопа.

Технічна характеристика пристрою ПВШ-50.

Показчик	Характеристика
Тип	Пересувний
Вид привода	Гідравлічний, двоступінчастий, ручний
Максимальне зусилля випресування, Н (кгс), не більше	490000, (50000)
Номінальний тиск, МПа (кгс/см ²), не більш вищої ступені нижчої ступені	25 (225) 4,8 (50)
Максимальне зусилля на рукоятці, Н (кгс), не більше	245(25)
Хід штока , мм , не більше	160
Зусилля переміщення пристрою по рівній підлозі з покриттям, Н (кгс), не більше	294 (30)
Робоча рідина , що рекомендується	Масило індустриальне І 20А
Місткість бака, л, не більше	7
Габаритні розміри, мм, не більше Довжина Ширина Висота	1020 510 870
Маса пристрою без робочої рідини, кг, не більше	128



Конструкція пристрою ПВШ-50.

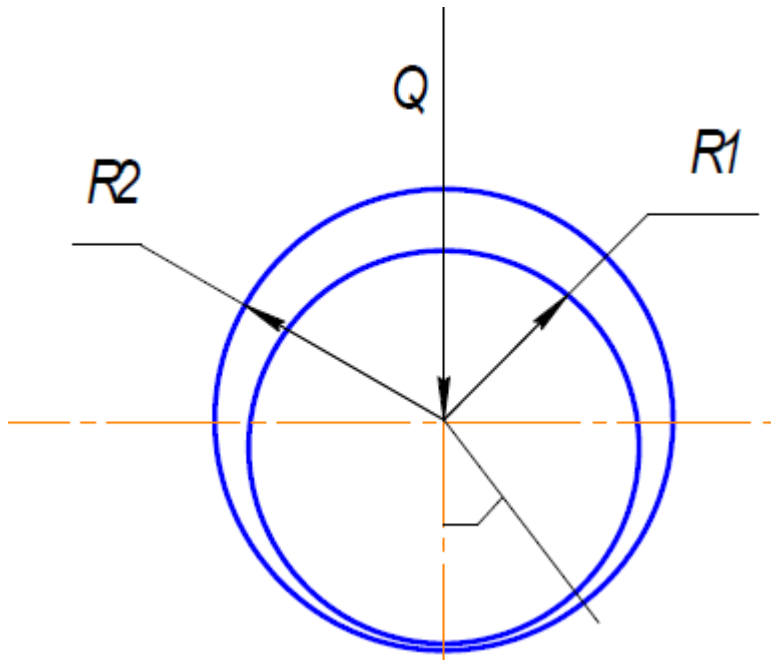


Основною причиною відмови вузла є граничне збільшення зазору між роликівими підшипниками та цапфою поворотного кулака керованих коліс

Розрахунки

Вихідні дані для розрахунку:

Схема навантаження на спряження типу Вал – Втулка



Радіуси:

$$R_1 = 27,484 \text{ мм}, \quad R_2 = 27,45 \text{ мм},$$

Модулі пружності:

$$E_1 = 5,16 \times 10^5, \quad E_2 = 5,15 \times 10^5$$

Навантаження:

$$Q = 1760 \text{ кг}$$

Різниця радіусів:

$$R_1 - R_2 = 0,016 \text{ мм}$$

Величину зносу U_w можна визначити за отримано в результаті розрахунків формулою:

$$U_w = K_w \cdot \sigma^m \cdot S_i$$

K_w і m для даної пари тертя:

для валу $K_w = 7.22 \cdot 10^{-12}$ $m=1.66$

для кільця $K_w = 5.5 \cdot 10^{-11}$ $m=1.78$

Контактний тиск

$$\sigma_0 = \frac{\Delta}{k_1 + k_2} \left(\frac{1}{\cos \varphi_0} - 1 \right), \quad \sigma_0 = \frac{0.016}{6.6 \cdot 10^{-5} + 1.8 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{\cos 0.152} - 1 \right) = 0.759 \text{ кг/мм}^2$$

Шлях тертя: $S = 2713 \text{ м}$

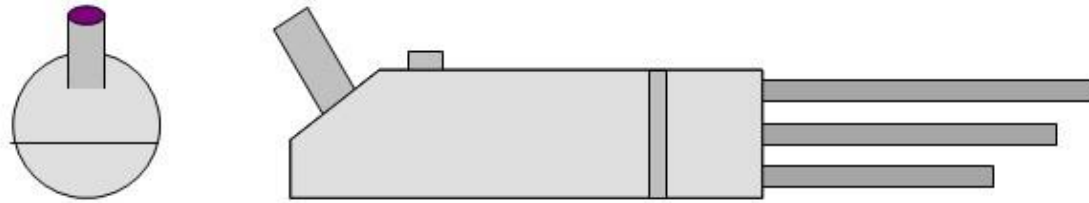
Підставляючи коефіцієнти отримаємо значення зносу валу до ремонту відновленням:

$$U_w = 7.22 \cdot 10^{-12} \cdot 0.759^{1.66} \cdot 2713 = 1.239 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 123 \text{ мкм}$$

Знос внутрішнього кільця

$$U_w = 5.5 \cdot 10^{-11} \cdot 0.759^{1.78} \cdot 2713 = 2.491 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 249 \text{ мкм}$$

Малогабаритний плазмотрон та характеристики автомата А1756



Технічні характеристики

Параметр	Значення
Продуктивність наплавлення, кг/год	0,35...15
Витрати аргону, л/хв	25...40
Ємкість бункера для порошку, дм ³	4,5
Номінальна напруга живлення, В	380
Номінальний струм наплавлення при ПВ=100 %, А	300
Сумарна потужність електродвигунів автомата, кВ·А	0,59

Режим плазмового напилення

Матеріал деталі	Сталь
Наплавлений матеріал	Сталь
Швидкість кутова обертання деталі, м/хв	до 8
Повздовжня подача плазмотрона, мм/об	20...50
Відстань від сопла плазмотрона до деталі, мм	250...350
Тиск плазмоутворюючого газу, МПа	0,6
Витрата присадкового матеріалу, кг/год,	8...12
Струм в ланцюгу електрод-сопло, А	200...220
Напруга, В	270...380
Товщина шару покриття, мм	0,1...4

ВИСНОВКИ

В роботі для відновлення та підвищення довговічності деталей підвіски тролейбуса виконано наступне:

1. Проаналізовано умови роботи та технічне обслуговування передньої підвіски
2. Для полегшення процесу розбирання-збирання шворневого вузла вдосконалена конструкція спеціального пристрою для випресовування шворнів.
3. Підібрано обладнання для плазмового напилення цапф поворотного кулака тролейбуса.
4. В 4 розділі проведені розрахункові дослідження зносостійкості сталевих шийок встановлення підшипників.

Дякую за увагу