

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка технології відновлення шарового пальця автомобіля із застосуванням плазмового напилення

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Відновлення і технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРБМТВА 26. 22089. 000 ПЗ

Виконав: студент 4 курсу,
група МТВА-22-1



Назарій КОНОВАЛЬЧУК

Керівник, д.т.н., професор



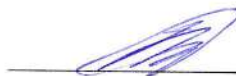
Олександр ДИХА

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:
завідувач кафедри ТАМ



Олександр ДИХА

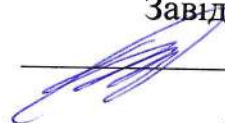
16 06 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра: трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти: перший бакалаврський
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ
Олександр ДИХА



" 15" квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Коновальчук Назарій Сергійович

1. Тема роботи: **Розробка технології відновлення шарового пальця автомобіля із застосуванням плазмового напilenня**

Керівник роботи: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 1) Дані про конструкцію підвіски автомобіля
- 2) Технічні умови ремонту підвіски
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Опис конструкції вузла шарового пальця автомобіля
2. Вибір та обґрунтування технології відновлення деталі
3. Технологічний процес відновлення та підвищення зносостійкості шарового пальця

5. Консультанти розділів роботи

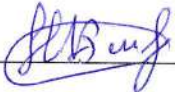
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Опис конструкції вузла шарового пальця автомобіля	1.05.2026	<i>lv</i>
2	Вибір та обґрунтування технології відновлення деталі	15.05.2026	<i>lv</i>
3	Технологічний процес відновлення та підвищення зносостійкості шарового пальця	30.05.2026	<i>lv</i>
4	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2026	<i>lv</i>

Студент

 Назарій КОНОВАЛЬЧУК

Керівник кваліфікаційної роботи

 Олександр ДИХА

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 68 сторінок, кількість рисунків - 22, таблиць - 4, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 10.

Студент гр. МТВА-22-1 Коновальчук Н.С.

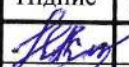



Тема «Розробка технології відновлення шарового пальця автомобіля із застосуванням плазмового напилення»

Кваліфікаційна робота присвячена розробці технології відновлення та підвищення зносостійкості шарового пальця підвіски автомобіля із застосуванням плазмового напилення. У роботі проаналізовано конструкцію шарових опор та умови їх експлуатації, що характеризуються значними контактними навантаженнями, наявністю мікропереміщень і впливом агресивного середовища, що призводить до інтенсивного зношування та розвитку фретинг-корозії. Розглянуто основні механізми зношування та причини виходу з ладу шарового пальця, обґрунтовано необхідність застосування сучасних методів відновлення. У роботі розроблено технологічний процес відновлення шарового пальця, який включає підготовку поверхні, нанесення покриття, механічну та термічну обробку. Визначено раціональні режими напилення, параметри процесу та вимоги до матеріалів, що забезпечують формування якісного покриття з необхідними експлуатаційними характеристиками. Особливу увагу приділено підвищенню адгезійної міцності, вибору товщини покриття та забезпеченню оптимальної структури шару.

Ключові слова: шаровий палець, плазмове напилення, зносостійкість, відновлення деталей, трибологія, покриття, адгезійна міцність, підвіска автомобіля.

Зміст

ВСТУП	6
1. Опис конструкції вузла шарового пальця автомобіля.....	7
1.1. Конструктивні та технологічні особливості деталей шарового пальця.....	9
1.2 Діагностика деталей підвіски.....	14
1.3. Розбирання і збирання вузлів підвіски.....	17
1.4 Матеріали пари тертя.....	19
1.5 Загальна характеристика методів виготовлення вузла.....	20
1.6 Характеристика мащення деталей пари тертя.....	24
2. Вибір та обґрунтування технології відновлення деталі.....	31
2.1. Методи відновлення шарового пальця.....	31
2.2. Технологічна характеристика методу плазмового напилення.....	33
2.3. Вибір матеріалів для відновлення деталі.....	41
2.4. Вибір обладнання для відновлення.....	47

					КРБМТВА 26. 22089. 000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технології відновлення шарового пальця автомобіля із застосуванням плазмового напилення			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Коновальчук						4	65	
Перевір.		Диха						ХНУ, гр. МТВА-22-1		
Н.контр.		Бабак								
Затвер		Диха								

3. Технологічний процес відновлення та підвищення зносостійкості шарового пальця.....60

Висновки.....66

Список використаних джерел.....67

Додатки

					КРБМТВА 26. 22089. 000 ПЗ	Ст.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		5

Вступ

Сучасний розвиток автомобільного транспорту та машинобудування характеризується зростанням вимог до надійності, довговічності та безпеки експлуатації транспортних засобів. Одним із ключових напрямів підвищення ефективності використання техніки є забезпечення працездатності відповідальних вузлів і деталей, що працюють в умовах інтенсивного зношування. До таких елементів належать шарові опори підвіски автомобіля, зокрема шаровий палець, який сприймає значні змінні навантаження та працює в умовах тертя, ударів, вібрацій і впливу агресивного середовища.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена тим, що шарові з'єднання підвіски безпосередньо впливають на керованість автомобіля, стійкість руху та безпеку експлуатації. В процесі роботи вони піддаються інтенсивному зношуванню, яке проявляється у вигляді збільшення зазорів, порушення геометрії контактуючих поверхонь, розвитку фретинг-корозії та інших дефектів. Це призводить до погіршення технічного стану транспортного засобу, підвищення витрат на обслуговування та необхідності заміни дорогих деталей.

Аналіз конструкції вузла показує, що шаровий палець працює в умовах складного напружено-деформованого стану та контактної взаємодії з матеріалами різної природи (метал, металокераміка, полімерні елементи). При цьому основними причинами виходу з ладу є зношування контактних поверхонь, недостатня зносостійкість матеріалу, вплив корозійних процесів і недосконалість умов змащення. Особливо небезпечним є розвиток фретинг-корозії, що виникає при малих коливальних переміщеннях у зоні контакту та призводить до прискореного руйнування поверхневих шарів.

У зв'язку з цим важливого значення набувають сучасні технології відновлення та зміцнення деталей, які дозволяють не лише відновити

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

геометричні розміри зношених поверхонь, але й підвищити їх експлуатаційні характеристики. Одним із найбільш ефективних методів є газотермічне, зокрема плазмове напилення, яке забезпечує формування покриттів із високою зносостійкістю, достатньою адгезійною міцністю та можливістю регулювання фізико-механічних властивостей шару.

Плазмове напилення дозволяє наносити покриття з різних матеріалів (металів, сплавів, карбідів, кераміки), що відкриває широкі можливості для підвищення ресурсу деталей машин. Висока температура плазмового струменя та значна швидкість частинок забезпечують формування щільного покриття з доброю адгезією до основи, при цьому тепловий вплив на деталь залишається відносно невеликим. Це особливо важливо для відновлення деталей типу шарових пальців, де необхідно зберегти механічні властивості основного матеріалу.

Разом із тим, ефективність процесу напилення значною мірою залежить від правильного вибору технологічних параметрів, матеріалів покриття, способів підготовки поверхні та подальшої механічної обробки. Недостатня адгезія, підвищена пористість або залишкові напруження можуть призводити до передчасного руйнування покриття. Тому розробка обґрунтованого технологічного процесу відновлення шарового пальця є актуальною науково-практичною задачею.

Особливу увагу необхідно приділити забезпеченню оптимальної товщини покриття, формуванню структури шару, підвищенню адгезійної міцності та мінімізації дефектів у крайових зонах. Важливим також є врахування умов експлуатації деталі, вибір раціональних режимів напилення та методів фінішної обробки, що дозволяють досягти необхідної точності та шорсткості поверхні.

Таким чином, застосування плазмового напилення як методу відновлення шарових пальців є перспективним напрямом підвищення довговічності деталей автомобільного транспорту. Розробка та

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

вдосконалення технології напилення дозволяє знизити витрати на ремонт, підвищити ресурс вузлів та забезпечити надійну роботу транспортних засобів.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення зносостійкості та відновлення експлуатаційних властивостей шарового пальця автомобіля шляхом розробки та обґрунтування технології плазмового напилення покриття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **такі завдання**:

- провести аналіз конструкції вузла шарового пальця та умов його роботи з визначенням основних причин зношування і руйнування;
- дослідити сучасні методи відновлення деталей та обґрунтувати вибір плазмового напилення як найбільш ефективного способу;
- розробити технологічний процес відновлення шарового пальця із визначенням режимів напилення, матеріалів покриття та параметрів обробки;
- оцінити вплив технологічних параметрів на якість покриття та зносостійкість відновленої деталі.

Запропонований підхід дозволяє комплексно вирішити задачу відновлення деталей підвіски автомобіля, забезпечуючи підвищення їх надійності, довговічності та економічної ефективності експлуатації.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

з'єднані дякуючи упругим властивостям спеціальної резини. В центрі сталюї обойми встановлена рїзьбова пробка (6).

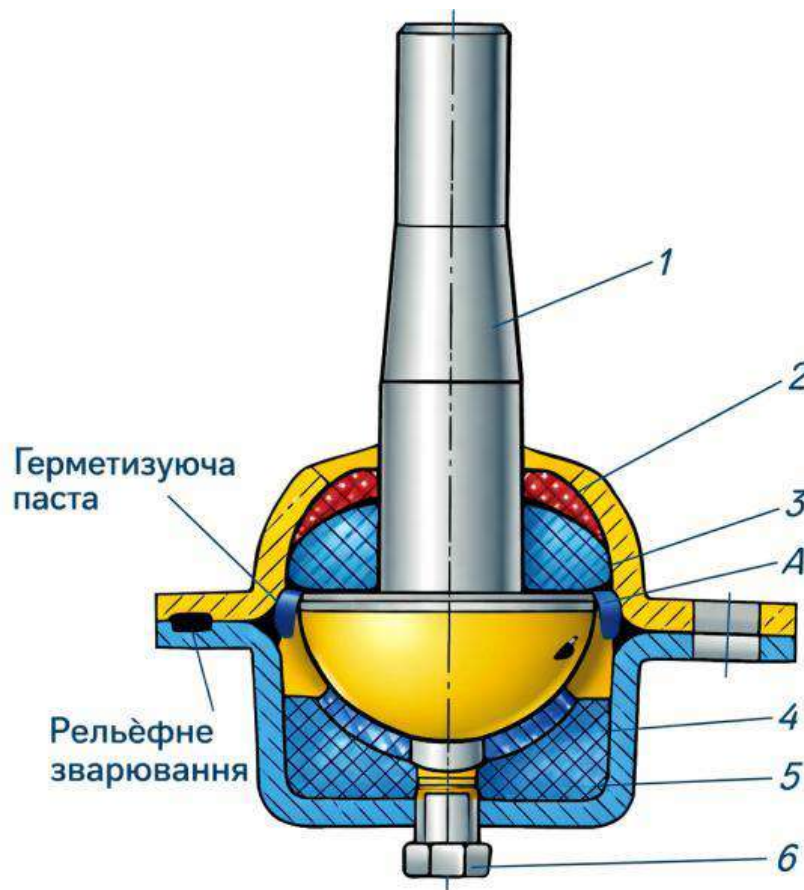


Рисунок 1.2 – Нижня шарова опора в зборі

Підшипник (2) шарового пальця виготовлений з металокераміки і поміщений в корпус (3). Поверхня шарового пальця в місцях, які контактують з підшипником, загартовані. На пружній сферичній поверхні підшипника (2) є канавки для змащування.

Конус підшипника (3) відштампований із сталі товщиною 3,5 мм, його внутрішня поверхня при виготовленні обробляється чеканкою і потім піддається нітроцементації.

Після збирання шарніра корпус підшипника (3) і обойми вкладиша (5) з'єднують рельєфною сваркою (на заводі).

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

На відміну від нижнього шарового пальця опорною частиною шарового пальця верхньої опори закінчується циліндричним шипом, на який при зборці встановлюють металокерамічний підшипник (5).

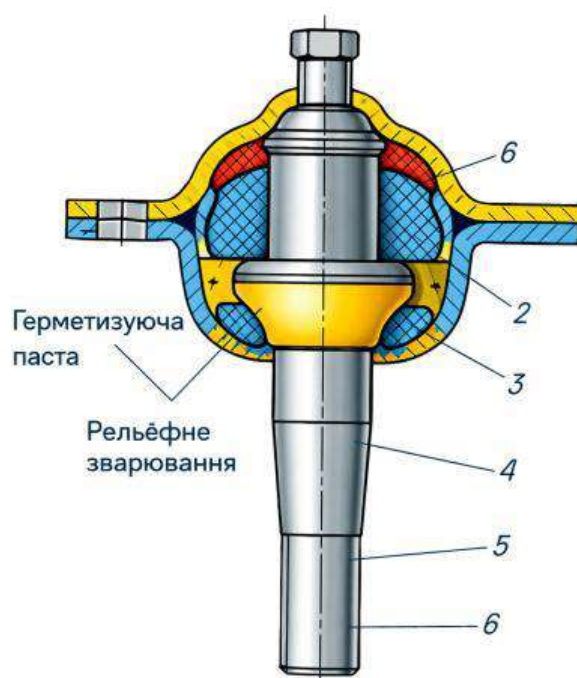


Рисунок 1.3 – Верхня шарова опора в зборі

Обойма вкладиша (4) та корпус підшипника (6) верхньої шарової опори виготовляються методом штампування зі сталевого листа товщиною близько 3 мм із подальшою термічною обробкою робочих поверхонь. У верхній частині корпусу передбачено різьбову пробку (7). Вкладиш (2) виконано у вигляді еластичного гумового кільця, яке забезпечує попередній натяг між буртами шарового пальця (1) та сферичною шайбою (3). Сферична шайба виготовляється зі сталі товщиною приблизно 1,2 мм та піддається нітроцементациї на глибину 0,1–0,2 мм. Завдяки незначному зазору при посадці на палець вона обертається разом із ним відносно обойми, формуючи достатню площу контакту в зоні тертя. Обойма вкладиша (4) і корпус підшипника (6), з'єднані між собою рельєфним

зварюванням, утворюють разом із внутрішніми елементами герметичний нерозбірний вузол.

Перед виконанням технічного обслуговування або ремонтних робіт необхідно оцінити технічний стан елементів передньої підвіски. Насамперед перевіряється цілісність захисних чохлів шарнірів — вони не повинні мати тріщин, розривів чи інших механічних пошкоджень. Додатково контролюється відсутність тріщин, задирів та залишкових деформацій на деталях підвіски, зокрема осі нижнього важеля та поперечини. Обов'язковою є перевірка зазору у верхньому кульовому шарнірі, а також загального стану нижньої шарової опори.

Оцінювання деформації поперечини передньої підвіски виконують у такій послідовності. Спочатку послаблюють гайки кріплення осей нижніх важелів до утворення зазору між дистанційною шайбою та опорною поверхнею поперечини, достатнього для встановлення ніжки штангенциркуля поблизу переднього болта. Далі вимірюють відстань між площинами встановлення осей лівого та правого нижніх важелів у зоні передніх кріплень. Нормативне значення цієї відстані становить 611 ± 1 мм. У разі перевищення допустимих відхилень, що унеможлиблює регулювання кутів встановлення коліс, поперечину підлягає заміні.

Стан гумометалевих шарнірів визначають після перевірки відсутності деформацій важелів підвіски, осі нижнього важеля та поперечини, а також після встановлення передніх коліс автомобіля. Ознаками несправності є розриви гумового елемента або його одностороннє випирання. Критичним вважається зміщення, що перевищує 2,5 мм. Контрольні розміри мають відповідати таким межам: для нижнього важеля — 3–7,5 мм, для верхнього — 1,5–5 мм. У разі виходу параметрів за встановлені межі необхідно перевірити правильність запресування шарніра в гніздо важеля. Зношення гумометалевих шарнірів часто є причиною неможливості регулювання розвалу коліс навіть за повного видалення регулювальних шайб.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

вісь нижнього ричага; 36 - нижній ричаг підвіски; 37 - болти кріплення вісі нижнього ричага; 38 - пружина підвіски; 39 - обойма кріплення штанги стабілізатора; 40 - амортизатор; 41 - болт кріплення амортизатора; 42 - гайка кріплення кронштейна амортизатора до ричага підвіски; 43 - кронштейн кріплення амортизатора до нижнього ричага підвіски; 44 - нижня опорна чашка пружини підвіски; 45 - обойма вкладиша нижньої опори; 46 - корпус підшипника нижньої опори; 47 - вкладиш обойми шарового пальця; 48 - підшипник нижньої опори; 49 - шаровий палець; 50 - обмежувач доворота передніх коліс

1.2 Діагностика деталей підвіски

Зазор в верхніх шарикових шарнірах перевіряється в наступному порядку.

- Встановлюється автомобіль на рівній горизонтальній площадці з твердим покриттям, піднімається права передня частина автомобіля і знімається колесо, підставляється під нижній шаровий шарнір дерев'яна колодка (10) висотою 190 мм і опускається на неї автомобіль.

- Встановлюється втулка (9) на гайку найближчу до кожного болта кріплення верхнього шарніра, надівається на втулку основа (8) і легко закріплюється гвинтом (4).

- Пересуваючи пристрій, встановлюється ричажок (3) в вертикальне положення так, щоб його нижній кінець впирався в захисний кожух (2) тормоза і затягується гвинтом (4).

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

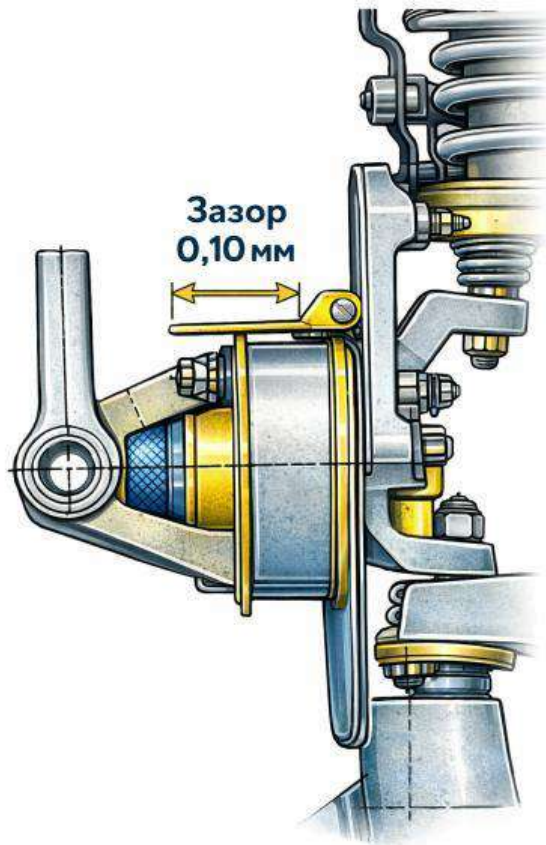


Рисунок 1.5 – Вимір зазора в верхньому шаровому шарнірі (гальма умовно не показані)

- Встановлюється в стійку основи індикатор до кінця його ножки в ричажок з натягом (2-3 мм) і затягується гвинт

- Прикріплюється кронштейн до ступиці двома гвинтами кріплення колеса, надівається динамометричний ключ на шестигранну головку осі кронштейна і моментом 196Н-м (20 кгс/м) повертається ключ до автомобіля і від нього, обидва показники індикатора сумуються.

- Сумарні показники індикатора не повинні перевищувати 0,8 мм.

- Повторюється операція для підвіски лівого переднього колеса.

Стан нижніх шарикових шарнірів перевіряється в наступному порядку.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Встановлюється автомобіль на рівні горизонтальні поверхні з твердим покриттям і, піднімаючи праву передню частину автомобіля знімається колесо.



Рисунок 1.5 – Схема перевірки нижніх шарових шарнірів:

1 - ступиця колеса; 2 - нижній важіль; 3 - нижній шаровий шарнір; 4 - штангенциркуль; 5 - дерев'яна колодка

- Ставиться під ступицю (1) (рис.1.5) дерев'яна колодка (5) висотою 280 мм, опускається на неї автомобіль очищується нижня частина шарніра від пилу й болота і вивертається конічна пробка.

- Заміряється глибиноміром штангенциркуля (4) відстань h як показано на схемі.

- Операція повторюється для підвіски лівого переднього колеса.

Якщо $h \geq 11,3$ мм, то шарнір знімається з автомобіля і ретельно оглядається. На корпусі шарніра не повинно бути тріщин, а в змазці болота.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

При наявності болота в змазці, тріщин на корпусі шарніра, а також при $h \geq 11,8$ мм шарнір замінюють.

1.3. Розбирання і збирання вузлів підвіски

Розбирання. Якщо при ремонті підвіски необхідно повне розбирання її вузла, то це зручніше почати безпосередньо на автомобілі перед тим, як стискати пружину підвіски, діючи в наступному порядку.

- Відгинаються пелюстки стопорних пластин, вивертаються гвинти кріплення супорта і відводячи його в сторону закріплюється супорт, так щоб він не висів на шлангах;

- Знімачем (рис. 1.6) знімається ковпак ступиці переднього колеса;

- Відкручується регульовальна гайка підшипника ступиці, знімається шайба і знімачем А(40005/1/9В) (рис. 1.7) знімається ступиця в зборі з підшипником, сальником і гальмовим диском.

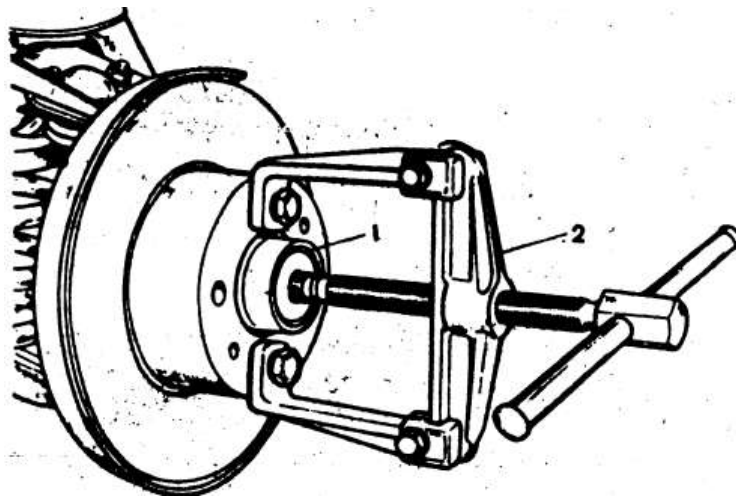


Рисунок 1.7 - Знімання ступиці переднього колеса знімачем А.40005/1/9В:

1 - ступиця колеса; 2 - знімач

Подальше розбирання проводять після знімання з автомобіля вузла підвіски, закріпив його на верстаті, діючи в наступному порядку.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Відкручуються всі гайки 1 , знімаються опорні пластини і важіль поворотного кулака, при цьому звільняється кронштейн (2) кріплення супорта і захисний кожух (3) гальмівного диска.

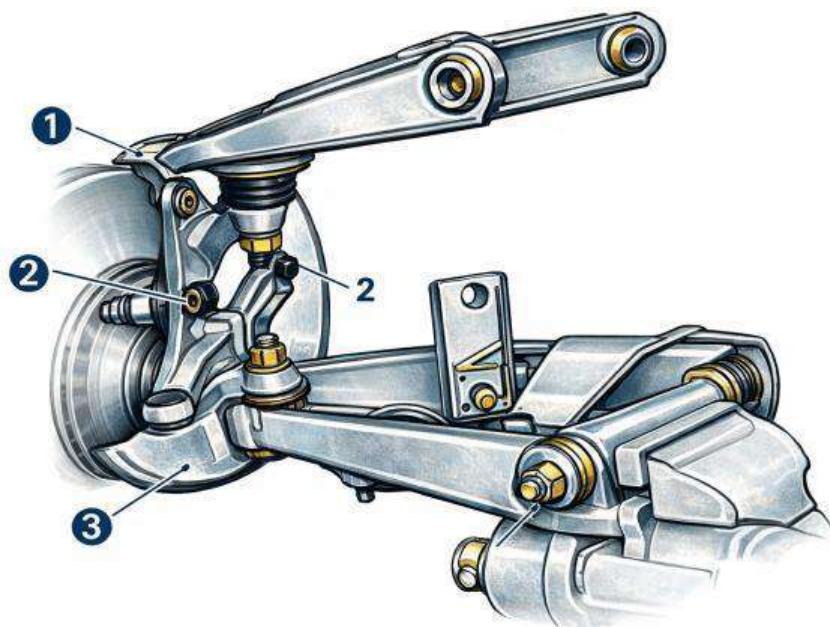


Рисунок 1.8 - Вузол підвіски лівого колеса, закріпленого на верстаті для розбирання: 1 - гайки кріплення важіля обертового кулака, кронштейна кріплення супорта і захисного кожуха до обертового кулака; 2 - кронштейн кріплення супорта; 3 - захисний кожух гальмівного диска

- Відкручується гайка кріплення пальця верхнього шарніра, встановлюється знімач між пальцями шарових шарнірів, закручується гвинт знімача, випресовується палець верхнього шарніра з поворотного кулака.

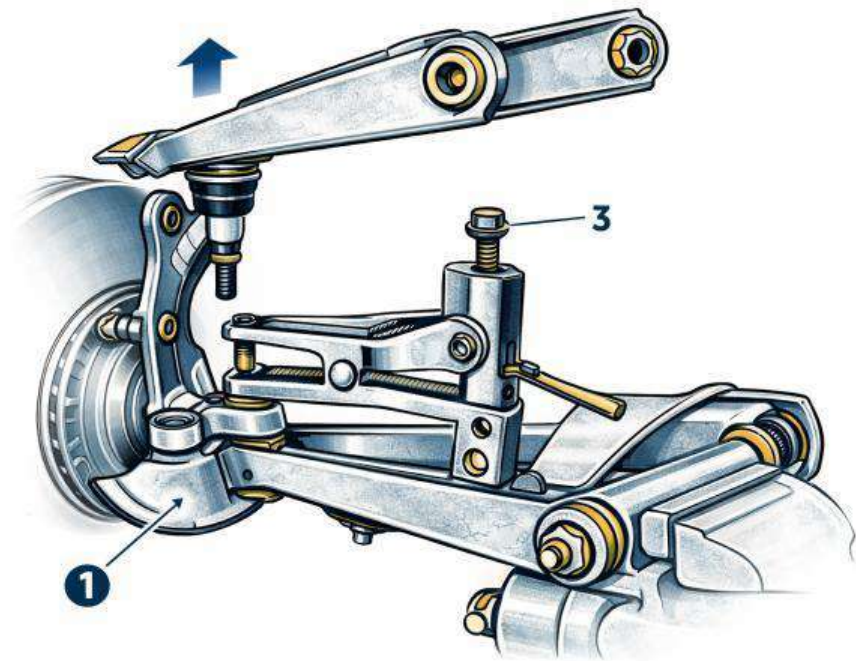


Рисунок 1.9 - Від'єднання верхнього важеля: 1 - обертовий кулак; 2 - палець шарового шарніра; 3 - пристрій; 4 - болт

- Відкручується гайка кріплення пальця нижнього шарніра і встановлюється між пальцем шарніра і упором (2) знімач з розмірною втулкою, закручуючи гвинт знімача, виприсується палець і знімається нижній важіль з кулака.

1.4 Матеріали пари тертя

Хімічний склад сталі 40Х показаний в табл. 1.1, в відсотках.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.1

C	S _i	M _n	S _p	P	N _i	C _r
			не більше			
0,35-0,45	0,15-0,35	0,-0,8	0,04	0,04	-	0,8-1,1

Механічні властивості сталі 40X ДСТУ 4543-71 показані в табл. 1.2

Таблиця 1.2

σ _T , МПа	σ, МПа	δ, %	ψ, %	Q _n , Дж/см ²	НВ (не більше)	
не менше						
800	1000	10	45	60	250	217

Твердість поверхні пальця після гартування HRC 30...35. Для попередження задирів шорсткість годовних поверхонь сферичної голівки 0,5, конічної частини хвостовика 1,0.

Так як при виробництві кульового пальця використовується велика кількість формуювальних операцій, то з метою економії метала, підвищення надійності верстатів та інструменту можна замінити сталь 40X на кільцеву АЦ 40X.

1.5 Загальна характеристика методів виготовлення вузла

Для забезпечення заданих кресленням розмірів і точності виготовлення деталі, а також з урахуванням раціонального використання трудових і матеріальних ресурсів, формується послідовний технологічний маршрут обробки.

Операція 005 є основною формуювальною і виконується на автоматичному обладнанні. На цьому етапі здійснюється обробка хвостовика, конічної ділянки та сферичної головки деталі. Для виконання операції використовується шестишпindelний токарний автомат моделі 1Б240-6.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Операція 010 передбачає обдирочно-шліфувальну обробку, під час якої усувається центровий припуск і забезпечується розмір $67\pm 0,3$ мм по торцевих поверхнях. Це створює необхідні умови для подальшого свердління отвору діаметром 8 мм. Обробка виконується на верстаті ЗБ634.

Операція 015 є мийочною і спрямована на очищення поверхні деталі від технологічних забруднень. Операція 020 – контрольна, де здійснюється вибіркова перевірка розмірів, отриманих на попередніх стадіях.

На операціях 025 та 030 виконуються внутрішньоцехове переміщення та транспортування заготовок.

Операція 035 виконується на вертикально-свердлильному верстаті 2М112 і полягає у свердлінні отвору діаметром 8 мм у торцевій частині головки.

На операції 040 здійснюється зняття фаски в цьому отворі. Операція 045 передбачає свердління отвору діаметром 3,5 мм у хвостовику. На операції 050 знімаються фаски з обох сторін цього отвору.

Операції 055–065 є безцентрово-шліфувальними. Послідовно обробляються хвостовик, конічна ділянка та циліндрична частина сферичної головки. Обробка виконується на верстатах типу 3М182.

Після шліфування проводиться мийочна операція 070 для видалення залишків абразиву та мастильних матеріалів.

Операція 075 передбачає профіленакатування конічної частини для досягнення остаточних розмірів. На операції 080 виконується обкатування сферичної головки (обладнання А2528 або UPW 25.1). Операція 085 – різьбонакатування, у процесі якого формується різьба $M12\times 1,25-6d$.

Після цього на операції 086 здійснюється калібрування отвору діаметром 3,5 мм, оскільки після накатування різьби можливе утворення задирок.

Операція 090 – повторне миття, операція 095 – контроль якості, операція 100 – транспортування.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

На операції 105 виконується термічна обробка (гартування) з досягненням твердості на рівні HRC 30–37, що забезпечує необхідні експлуатаційні властивості деталі.

Операція 110 передбачає нанесення гальванічного покриття (оксидування) з метою підвищення корозійної стійкості та покращення зовнішнього вигляду виробу.

На завершальних етапах виконуються консервація (операція 115), пакування (операція 120) та транспортування готової продукції на склад (операція 125).

Формоутворення поверхонь на операції 005 здійснюється у шести позиціях на шестишпindelному прутковому автоматі 1Б240-6 із застосуванням охолоджувальної рідини типу сульфозфрезолу. Використовуються затискна штанга діаметром 23 мм та подаюча цанга відповідного розміру.

Кожен шпindel автомат оснащений поздовжнім і поперечним супортами. Як різальний інструмент застосовуються твердосплавні різці марок ВК8 (типи 2102-0027, 2159-4256). Для контролю розмірів використовуються штангенциркулі типу ШЦ-I-125-0,1, а також калібри, скоби та спеціальні контрольні пристрої.

Як конструкційна база використовується вісь заготовки, що забезпечує необхідну співвісність оброблюваних поверхонь.

На позиції №1 виконується точіння хвостовика до діаметра 19 мм на довжині 20 мм із одночасною підрізкою торцевої поверхні. На позиції №2 здійснюється обробка хвостовика до діаметра 15 мм на довжині 18 мм, а також формування фасонної поверхні пальця. На позиції №3 проводиться точіння хвостовика до діаметра 11,5–0,24 мм на довжині 18,5 мм. Позиція №4 призначена для обробки фасонної поверхні кульового пальця. На позиції №5 виконується остаточне формування фасонної

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

поверхні. На позиції №6 здійснюється відрізання деталі з витримуванням загальної довжини 67 мм.

Операція 045 передбачає свердління отвору діаметром $3,5+0,3$ мм із забезпеченням розміру $26\pm 0,26$ мм. Обробка виконується на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2M112 із застосуванням спеціального кондуктора, що підвищує продуктивність і точність. Ріжучий інструмент — свердло діаметром 3,6 мм (2300-7535 за ДСТУ 10902-77), допоміжний — патрон типу 10-B16 (ДСТУ 8522-79). Контроль здійснюється за допомогою калібрів для перевірки симетричності отвору, пробки 8132-0903Н14 (ДСТУ 14810-69), калібру для контролю розміру 26 мм, а також еталонної деталі для оцінювання шорсткості поверхні ($Ra\ 12,5$). Базування деталі здійснюється на оправці по конічній та циліндричній поверхнях.

Послідовність переходів: встановлення деталі; свердління отвору з витримуванням заданих розмірів і шорсткості ($Rz80$); зняття деталі; контроль симетричності отвору, діаметра, довжини та параметрів шорсткості.

Операція 055 полягає у безцентровому шліфуванні хвостовика до розміру $11,12-0,027$ мм на довжині не менше 17,5 мм із досягненням шорсткості поверхні $Ra\ 2,5$. Обробка виконується на верстаті 3M182 із застосуванням охолоджувальної емульсії. Як абразивний інструмент використовується шліфувальний круг ПП350×32-127 24А40ПСТ 15К5 зі швидкістю 35 м/с. Допоміжне оснащення включає підтримуючий ніж, планшайби ведучого та шліфувального кругів, ведучий круг і алмазний олівець для правки. Контроль розмірів здійснюється скобою ($11,12-0,027$) та штангенциркулем ШЦ-I-125-0,1.

Послідовність переходів: встановлення деталі; шліфування хвостовика до заданого розміру з дотриманням точності та шорсткості; формування поверхні за схемою подвійної напрямної.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Операція 075 передбачає накатування конічної поверхні пальця на профіленкатному верстаті UPW-25.1 із використанням індустріального масла I-20A (ДСТУ 20799-75) як мастильно-охолоджувальної рідини. Базування деталі здійснюється за схемою подвійної напрямної.

Формоутворюючим інструментом є накатні ролики (1181-4021), допоміжним — підтримуючий ніж (7662-4100). Контроль проводиться калібром-кільцем 8322-4005 та еталонною деталлю за параметром шорсткості (Ra 1,0).

Послідовність переходів: встановлення деталі; накатування конічної поверхні з конусністю 1:10 із забезпеченням розмірів (діаметри 16 мм та $13 \pm 0,25$ мм) і шорсткості поверхні; зняття деталі; контроль геометричних параметрів і якості поверхні.

1.6 Характеристика мащення деталей пари тертя.

Основним структуроутворюючим компонентом пластичних мастил є загущувач, частинки якого формують просторовий каркас у базовому маслі та визначають основні експлуатаційні характеристики матеріалу.

Як загущувачі застосовують органічні та неорганічні речовини. До органічних належать:

- мила металів (кальцієві, натрієві, літієві, алюмінієві);
- похідні карбамідів;
- солі терефталевої кислоти;
- кристалічні полімери.

До неорганічних загущувачів відносять:

- силікагель;
- бентонітові глини;

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– технічний вуглець.

Частинки загущувача утворюють у маслі просторову структуру, яка надає мастилу механічну міцність. Однією з ключових характеристик є границя міцності, під якою розуміють мінімальне напруження, що спричиняє незворотну деформацію (зсув) структури мастила.

За навантажень, що перевищують цю границю, мастило переходить у в'язкотекучий стан і починає деформуватися. При навантаженнях, менших за границю міцності, воно проявляє властивості пружного тіла. Саме завдяки цьому пластичні мастила утримуються на вертикальних і похилих поверхнях та не витікають із недостатньо герметизованих вузлів тертя.

Типові значення границі міцності при температурі 20 °С знаходяться в межах 300–1000 Па і зменшуються зі зростанням температури.

Пластичні мастила застосовують як антифрикційні, консерваційні та ущільнювальні матеріали.

Основні функції пластичних мастил:

- зменшення сил тертя між контактуючими поверхнями;
- зниження інтенсивності зношування та запобігання заїданню;
- захист металевих поверхонь від корозії;
- ущільнення зазорів у спряжених деталях;
- виконання функцій електроізоляції;
- демпфування ударних навантажень;
- зниження рівня вібрацій і шуму.

Порівняно з рідкими мастильними матеріалами пластичні мастила мають такі переваги:

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

- здатність утримуватися на поверхнях без витікання з вузлів тертя;
- меншу залежність консистенції від температури;
- підвищені протизносні та протизадирні властивості;
- ефективніший захист від корозії;
- кращу герметизацію вузлів і захист від проникнення забруднень;
- надійну роботу в складних умовах експлуатації;
- зниження витрат на технічне обслуговування.

До недоліків пластичних мастил відносять:

- обмежену здатність до відведення тепла від зони тертя;
- складнішу систему подачі в порівнянні з рідкими мастилами;
- схильність деяких мильних мастил до окиснення.

За призначенням пластичні мастила поділяють на антифрикційні, консерваційні та ущільнювальні.

Антифрикційні мастила є найбільш поширеними та застосовуються у вузлах тертя для зменшення зношування. Вони поділяються на мастила загального призначення (для температур до 70 °С і до 120 °С) та спеціальні. До спеціальних належать термостійкі (понад 150 °С), морозостійкі (до –40 °С і нижче), протизадирні, хімічно та радіаційно стійкі мастила.

Залежно від галузі використання розрізняють індустріальні, приладні, автомобільні та залізничні мастила. Основними вузлами їх застосування є підшипники кочення і ковзання, шарнірні з'єднання, зубчасті, гвинтові та ланцюгові передачі, а також електричні контакти.

Консерваційні мастила становлять до 15 % загального обсягу виробництва і призначені для захисту металів від корозії. Хімічна корозія виникає внаслідок взаємодії металу з агресивними компонентами середовища або мастила. Електрохімічна корозія пов'язана з наявністю

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологи та продуктів окиснення на поверхні металу. У цьому випадку важливими є захисні властивості мастила, тобто здатність його тонкого шару ізолювати метал від впливу зовнішнього середовища.

Ущільнювальні мастила використовуються для герметизації зазорів у рухомих і нерухомих з'єднаннях механізмів і обладнання. За сферою застосування їх поділяють на мастила для арматури, різьбових з'єднань та вакуумні мастила. Специфіка застосування ущільнюючих мастил полягає в постійному контакті з газоподібними середовищами та водою, сильній абразивній дії середовища, малих швидкостях переміщення вузлів, високих контактних навантаженнях.

Основні фізичні та триботехнічні властивості пластичних мастил наведені в таблиці.

Мастила	В'язкість, Па*с		Протизадирні властивості		Температура застосування, °С
	-30°С	20°С	Р _к , Н	Р _с , Н	
Прес-солідол С	500-2000	30-90	550-650	1750-2000	-40+50
Солідол С	1500-3000	80-150	550-900	1750-2500	-30+60
Литол-24	800-1500	80-120	630-800	1600-2240	-40+130

Асортимент антифрикційних мастил

Антифрикційні пластичні мастила класифікують за типом загущувача, що визначає їх експлуатаційні властивості та область застосування.

Кальцієві мастила представлені кількома різновидами. До гідратованих кальцієвих мастил, у яких як модифікатор використовується вода, належать солідол С, прес-солідол С, графітне мастило УссА та індустріальне мастило ЦІАТИМ-208. Вони характеризуються доброю

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

водостійкістю, але обмеженою термостійкістю. Комплексні кальцієві мастила (наприклад, Уніол-1, ЦИАТИМ-221) відрізняються підвищеною термостійкістю та можуть працювати за більш високих температур. Існують також безводні кальцієві мастила, у яких як структуроутворювач застосовуються спеціальні добавки (наприклад, ПАП).

Натрієві мастила містять підвищену кількість загущувача (до 20 %), що зумовлює їх обмежену працездатність при низьких температурах. До цієї групи належать мастила ДТ-1, КСБ, ВНИИНП-228. Водночас вони характеризуються достатньо високою температурною стійкістю.

Літєві мастила є найбільш універсальними. Вони відзначаються високою стабільністю властивостей у часі та здатністю працювати в широкому температурному діапазоні, включаючи низькі температури до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. До цієї групи належать ЦИАТИМ-201, ЦИАТИМ-202, БМЗ-3.

Аналіз причин виходу з ладу спряження «конічна поверхня опори – отвір сошки»

Для даного типу спряження характерним механізмом руйнування є фретинг-корозія — різновид корозійно-механічного зношування, що виникає при малих коливальних переміщеннях контактуючих поверхонь у присутності агресивного середовища. Обов'язковою умовою розвитку цього процесу є наявність мікропроковзування між поверхнями.

Фретинг-корозія широко проявляється у з'єднаннях із натягом на валах, у посадках лопаток турбін і компресорів, шліцьових і шпонкових з'єднаннях, болтових і заклепкових вузлах. Також вона характерна для канатних систем, підшипників кочення, ресор, пружин, муфт, шарнірних механізмів та електричних контактів.

Експериментальні дослідження показують, що випробування на фретинг-зношування доцільно проводити в умовах плоского або кільцевого контакту. Як критерії оцінки використовують масовий знос ΔU_m або лінійний знос U , а також їх значення, приведені до одиниці шляху тертя.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Середній лінійний знос визначають методом профілографування доріжки тертя. Водночас цей підхід не завжди повністю характеризує ступінь пошкодження, оскільки локальні дефекти (наприклад, глибокі виразки) можуть бути більш небезпечними, ніж рівномірний поверхневий знос. Визначення зносу за зміною маси також має обмеження, особливо при малих значеннях зношування та можливому перенесенні матеріалу між поверхнями. У ряді випадків доцільно оцінювати ступінь пошкодження за площею та глибиною тріщин.

Інтенсивність фретинг-корозії залежить від комплексу факторів, серед яких основними є:

– Амплітуда відносного ковзання. Навіть дуже малі переміщення (порядку 10^{-7} – 10^{-5} м) можуть спричинити розвиток фретингу. Зі збільшенням амплітуди процес поступово переходить у звичайне зношування. При амплітудах понад 0,10–0,15 мм для сталей спостерігається різке зростання інтенсивності зносу через прояви схоплення.

– Контактний тиск. Значні пошкодження можуть виникати навіть при відносно невеликих навантаженнях. Оцінка впливу тиску ускладнюється тим, що в процесі роботи він змінюється внаслідок еволюції мікрорельєфу поверхонь і накопичення продуктів зносу. Залежність зносу від навантаження може мати різний характер (лінійний або параболічний) залежно від умов контакту.

– Частота коливань. Вона впливає на тривалість циклу, швидкість відносного переміщення та температуру в зоні контакту. У багатьох випадках із підвищенням частоти інтенсивність фретинг-зношування в повітрі спочатку зменшується, а потім стабілізується.

– Кількість циклів навантаження. Руйнування поверхонь накопичується з ростом тривалості експлуатації. Найбільша швидкість зносу характерна для початкової стадії (періоду припрацювання), після чого

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

вона знижується. Можливе також часткове відновлення контакту за рахунок перенесення матеріалу.

– Умови зовнішнього середовища. Інтенсивність процесу значною мірою визначається корозійною активністю середовища. Зношування в повітрі, як правило, є більш інтенсивним, ніж у вакуумі або інертних газах (азот, водень, гелій).

Таким чином, фретинг-корозія є комплексним явищем, яке визначається взаємодією механічних, фізико-хімічних та експлуатаційних факторів і потребує врахування при проектуванні та експлуатації вузлів типу «конус–отвір».

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Вибір та обґрунтування технології відновлення деталі

2.1. Методи відновлення шарового пальця.

Напилення є одним із ефективних методів відновлення зношених поверхонь деталей шляхом нанесення металевих покриттів. Суть процесу полягає у подачі попередньо розплавленого матеріалу на спеціально підготовлену поверхню деталі. Частинки розплавленого металу у вигляді дрібних крапель переміщуються з високою швидкістю та досягають поверхні у пластичному стані. У момент контакту вони інтенсивно деформуються, заповнюють мікронерівності та пори основи, формуючи суцільне покриття з достатньою адгезією.

Плазмово-дугове напилення реалізується за допомогою спеціальних установок, у яких плавлення матеріалу здійснюється плазмовою дугою, що генерується плазмотроном, а перенесення та розпилення частинок відбувається потоком газу. Висока температура плазми дозволяє ефективно використовувати тугоплавкі матеріали та отримувати покриття з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

До основних переваг плазмового напилення належать висока продуктивність процесу, широкий діапазон технологічних режимів, можливість нанесення покриттів із різними фізико-механічними властивостями, а також відносна простота та універсальність обладнання. Це забезпечує швидке переналагодження виробництва та зниження експлуатаційних витрат. Додатковою перевагою є економія матеріалів і можливість використання різних робочих газів (азот, повітря, CO₂). Метод придатний для обробки поверхонь складної форми та різних розмірів.

Разом із тим, до недоліків плазмового напилення відносять часткове окиснення матеріалу та вигорання легувальних елементів у процесі нанесення. Однак у деяких випадках ці явища можуть позитивно впливати на формування зносостійких покриттів.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Газополуменеве напилення здійснюється з використанням ацетилено-кисневого полум'я, у якому відбувається плавлення напилюваного матеріалу, а його перенесення забезпечується струменем стисненого повітря. Матеріал подається у вигляді порошку з бункера за допомогою транспортуючого газу.

Недоліками газополуменевого напилення є відносно невисока продуктивність, значне окиснення матеріалу, втрати легувальних елементів, а також менша щільність і однорідність покриття порівняно з плазмовими методами.

Підвищення довговічності шарового пальця досягається шляхом нанесення зносостійкого покриття з подальшою механічною обробкою до номінальних розмірів. При цьому сформований шар, як правило, має вищу зносостійкість, ніж матеріал основи.

З урахуванням сучасних методів відновлення — газополуменевого та плазмового напилення — доцільним є вибір плазмового методу, оскільки він забезпечує кращі експлуатаційні характеристики покриття та вищу ефективність процесу.

Основними перевагами плазмового напилення є:

- висока продуктивність, що скорочує тривалість відновлення та знижує собівартість;
- можливість формування покриттів із заданими механічними властивостями завдяки високій температурі плазмової дуги;
- універсальність обладнання та швидкість переналагодження;
- економічність за рахунок раціонального використання матеріалів і робочих газів;
- обмежений тепловий вплив на основу, що дозволяє зберегти структуру матеріалу деталі.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.2. Технологічна характеристика методу плазмового напилення

Розробці захисних покриттів та методів поверхневого зміцнення деталей машин та механізмів в останнє десятиліття як в нашій державі, так за кордоном приділяється велика увага.

наслідок розвитку технологій відновлення деталей значна увага приділяється газотермічному напиленню, до якого належать газополуменеве, електродугове, плазмове та детонаційне напилення. Ці методи забезпечують формування покриттів із дискретних частинок матеріалу, які розганяються високотемпературним газовим потоком і осаджуються на поверхні деталі.

Умови формування газотермічних покриттів характеризуються високими швидкостями нагріву та охолодження частинок (10^4 – 10^6 °C/c), а також значними імпульсними навантаженнями під час їх взаємодії з основою. Це визначає специфіку структури покриттів, зокрема можливість утворення метастабільних і навіть аморфних фаз, склад і кількість яких залежать від режимів напилення.

Завдяки високій температурі та швидкості частинок формуються покриття з відносно низькою пористістю (приблизно 3–5 %) та достатньою адгезійною міцністю (до 5–6 кг/мм²). При цьому під час плазмового напилення нагрів основи є обмеженим (до ≈ 200 °C), що дозволяє уникнути деформацій деталей.

Плазмове напилення забезпечує:

- підвищення зносостійкості деталей у 2–10 разів, особливо в умовах високих навантажень, температур і швидкостей;
- економічно доцільне відновлення дорогих деталей (витрати становлять 10–40 % від вартості нової);
- раціональне використання дефіцитних матеріалів (нікель, кобальт, молібден тощо);

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

– підвищення втомної міцності деталей, що працюють у напружених умовах.

- Разом із тим, плазмове напилення має певні обмеження:
- не завжди забезпечується достатній рівень адгезійної міцності (у межах 10–50 МПа);
 - наявність пористості може вимагати додаткової обробки покриття;
 - низький коефіцієнт використання теплової енергії плазмового струменя (3–8 %);
 - підвищений рівень шуму та ультрафіолетового випромінювання;
 - значна вартість обладнання та експлуатаційні витрати.

При техніко-економічному обґрунтуванні доцільності застосування плазмового напилення визначальним фактором є збільшення ресурсу деталі та підвищення надійності її роботи.

Плазмове напилення є універсальним методом, оскільки дозволяє наносити покриття з широкого спектра матеріалів: сталей, чавунів, кольорових металів і їх сплавів, кераміки, металокераміки, карбідів тощо.

Основним елементом обладнання є плазмотрон, який формує плазмовий струмінь, забезпечує нагрів частинок і надає їм високої швидкості (100–600 м/с).

Технологічний процес плазмового напилення включає: – підготовку поверхні (очищення, створення необхідної шорсткості); – нанесення покриття; – оплавлення (за потреби); – фінішну механічну обробку (наприклад, шліфування).

Товщина покриття може змінюватися в широких межах — від 0,05 до 3,0 мм залежно від умов експлуатації та властивостей матеріалу.

Реалізація потенційних можливостей плазмового напилення можлива лише за умови правильного вибору обладнання, оснастки та суворого дотримання технологічних режимів.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Вимоги до процесу напилення щодо забезпечення високої адгезії та якості покриття

Адгезійна міцність визначає надійність зчеплення покриття з основою та залежить від фізичних, хімічних і механічних механізмів взаємодії матеріалів. Разом із когезійною міцністю вона є ключовим показником якості покриття.

Основні напрями підвищення адгезії:

1. Підготовка поверхні:
– ретельне очищення від забруднень;
– формування оптимальної шорсткості;
– мінімізація часу між підготовкою та напиленням;
– нанесення підшару (за потреби).

2. Підвищення температури та швидкості частинок:
– використання ефективних конструкцій плазмотронів (у тому числі надзвукових);
– оптимальний вибір плазмоутворюючих газів;
– підбір гранулометричного складу порошку;
– введення порошку безпосередньо в зону високих температур;
– застосування плакованих порошоків із екзотермічними властивостями;
– підвищення потужності плазмової дуги (до 80 кВт і більше).

3. Оптимізація технологічних параметрів:
– стабільність складу матеріалів і газів;
– контроль витрат порошку;
– оптимальне співвідношення газових потоків;
– регулювання швидкості переміщення деталі;
– дотримання дистанції та кута напилення.

4. Забезпечення стабільності обладнання:
– надійна робота джерела живлення;

- рівномірна подача порошку;
- стабільність формування газопорошкової суміші.

2.5. Вірне конструювання деталі

2.6. Товщина напиленого покриття

H- повинна бути рівна:

$$H = h_{\min} + \delta_{\text{зн}} + \delta_{\text{мо}} + \delta_y \quad (\text{мм}),$$

де h_{\min} -мінімальна товщина покриття ,

$\delta_{\text{зн}}$ - допуск на знос, мм,

$\delta_{\text{мо}}$ - припуск на механічну обробку, мм,

δ_y - допуск на усадку, мм (20 % від товщини напиленого шару.

Враховується лише при напиленні сплавами, що самофлюсуються),

$\delta_{\text{мо}}$ - залежить від якості напилення та способу механічної обробки

Мінімальна товщина покриття на деталях різних діаметрів (h_{\min})

Діаметр деталі	Мінімальна товщина покриття. мм на сторону (h_{\min})
до 2.0	0.2.0
від 2.0 до 4.00	0.40
від 4.00 до 7.0	0..0
від 7.0 до 100	0.6.0
від 100 до 12.0	0.7.0
від 12.0 до 1.00	0.90
більше 1.00	1.00

Величина припуску на механічну обробку ($\delta_{мо}$) напиленого покриття в залежності від діаметра деталі та способу обробки приведена в таблиці.

Якщо напилене покриття отрималось занадто шорстким, то варто збільшити значення $\delta_{мо}$

2.7 Нанесення проміжних шарів

Використання проміжних (підшарових) покриттів є ефективним засобом запобігання відшаруванню основного шару, особливо при нанесенні керамічних покриттів. Такий підхід дозволяє:

- знизити рівень внутрішніх залишкових напружень при формуванні покриттів середньої та значної товщини (понад 0,5 мм);
- компенсувати різницю коефіцієнтів термічного розширення між покриттям і матеріалом основи, що є особливо важливим для жаростійких систем, які працюють за умов циклічних температурних навантажень.

Матеріал проміжного шару повинен мати коефіцієнт термічного розширення, значення якого є проміжним між відповідними характеристиками покриття та основи. Крім того, він повинен відзначатися підвищеною пластичністю, що забезпечує здатність до релаксації внутрішніх напружень.

Практика показує, що при напиленні керамічних покриттів (зокрема на основі Al_2O_3) найкращі результати за показниками термостійкості досягаються при використанні як підшару ніхромових сплавів (наприклад, ПХ20Н80), а також нікель-алюмінієвих матеріалів типу ПН75Ю23В (ВКНА) і ПН85Ю15.

2.8 Наступна термічна обробка

Для зменшення рівня залишкових напружень у напиленому шарі застосовують додаткову термічну обробку, зокрема відпуск або низькотемпературний відпал. У ряді випадків також використовують

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

оплавлення покриття, що сприяє ущільненню структури, підвищенню когезійної та адгезійної міцності, а також покращенню експлуатаційних властивостей.

3 Способи підвищення адгезійної міцності в крайових зонах

3.1 Загальні положення

Окрім дотримання технологічних параметрів процесу напилення, існують спеціальні конструктивно-технологічні заходи, спрямовані на підвищення міцності зчеплення покриття з основою в крайових зонах, а також у місцях різкої зміни геометрії поверхні. Саме ці ділянки є найбільш схильними до утворення тріщин і подальшого відшарування покриття.

3.2 Формування проточок і виямок

Одним із найбільш ефективних і технологічно простих способів підвищення адгезії є створення спеціальних проточок або виямок на робочих поверхнях деталей (як циліндричних, так і плоских). Такі елементи забезпечують механічне закріплення покриття та зменшують концентрацію напружень у крайових зонах.

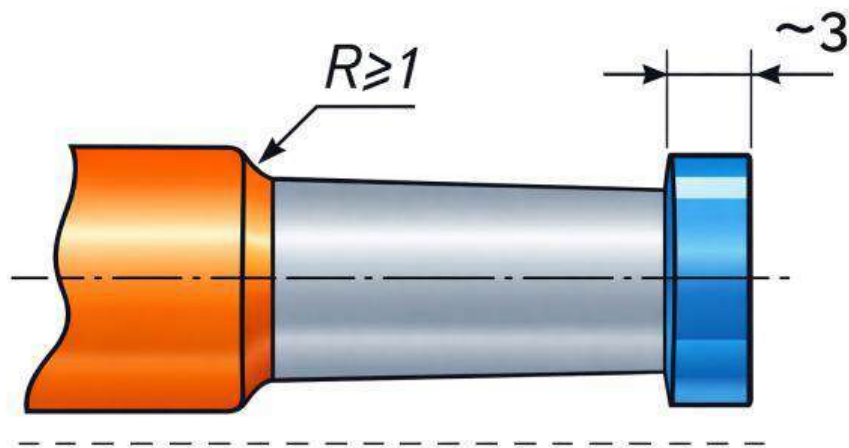
Розміри буртиків або проточок визначаються з урахуванням:

- товщини напиленого шару;
- геометричних розмірів деталі;
- площі нанесення покриття;
- твердості матеріалу основи;
- умов експлуатації виробу.

3.3 Механічне закріплення буртиків

У випадках, коли виконання проточок є неможливим з конструктивних або технологічних причин, застосовують механічне закріплення додаткових елементів (буртиків), наприклад шляхом напресування. Це дозволяє забезпечити додаткову фіксацію покриття та підвищити його стійкість до відшарування.

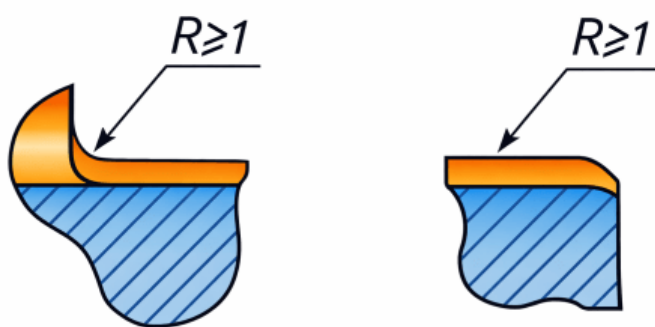
					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



3.4 Виготовлення буртиків з кінцевих утовщень, нанесених зваренням, наплавкою, електроіскровою обробкою та наступною механічною обробкою.

3.5. Прорізання канавок клиновидної форми на плоских поверхнях

3.6. Застосування та вірний вибір заокруглень.



3.7. Спеціальна підготовка отворів під напилення. Кінцеве фігурне шліфування валів. Вірний вибір кутів покриттів

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Вимоги до деталей для плазмового напилення.

1. Деталі при поступанні на ділянку нанесення покриттів повинні бути оброблені в відповідності з вимогами до креслення, а в місцях, що підлягають напиленню, з розмірами, що відрізняються від вимагаємих на товщину покриття

2 В кресленнях деталей, на поверхню яких наноситься покриття плазменним напиленням, повинні бути вказані:

- поверхні, на які повинні наноситись покриття;
- матеріали покриття;
- товщина шарів покриття в відповідності з ДСТУ 2.310-68;
- шорсткість поверхні покриття після механічної по ДСТУ 2.309-73

3.Твердість матеріала деталі не повинна перевищувати HRC 60.

4. Шорсткість поверхні, що підлягає напиленню, повинна бути не нижче Ra=6,3 мкм по ДСТУ 2789-73.

5. На поверхні, що підлягає напиленню, не допускаються:

- заусенки та їх механічна обробка;
- закатана окалина, розшарування та тріщини;
- пори та раковини;
- зварочні бризки, залишки флюса, пайка, пропалини;
- окалина та ржавчина

6. Напиляемі поверхні не повинні мати ДСТУрих кромок (граней), впадин та виступів. ДСТУрі кути та кромки деталей повинні бути заокруглені радіусом не менше 1 мм або мати фаски не менше 45.

7. При нанесенні покриттів на деталі з поверхнями, що пересікаються, кут між цими поверхнями повинен бути не менше 120 °.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Наносити покриття на внутрішню поверхню деталі типу “порожня втулка”, на стінки виямок , глухих отворів, пазів, канавок при умові, що відношення їх ширини або діаметра до глибини не менше двох.

9. Розміри напиляємих внутрішніх поверхонь деталі типу “втулка” повинні бути узгоджені з технічними можливостями обладнання та спеціальної технологічної оснастки (плазмотроном для напилення внутрішніх поверхонь).

2.3. Вибір матеріалів для відновлення деталі

2.3.1. Вимоги до матеріалів, що застосовуються в технологічному процесі напилення.

1. Порошкові матеріали для напилення.

1.1. Всі порошкові матеріали, що передбачені технологічним процесом, повинні пройти вхідний контроль на відповідність їх стандартам або технічним умовам.

Кожна партія напиляємих порошоків повинна мати паспорт з вказанням назви матеріалу, його м арки, хімічного вмісту, розміру частинок, дати виготовлення

1.2. Металічні порошки повинні мати гранулометричний склад в межах 40...100 мкм, керамічні- 20...60 мкм. При необхідності вихідна партія порошоків підлягає просіюванню через стандартний набір сит по ДСТУ 6613-86 для отримання потрібного гранулометричного складу.

1.3. Для отримання високоякісних покриттів бажано використовувати порошки з малим розкиданням по діаметру (60-80, 80-100 мкм і т.і.),

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

різнотовщинність покриттів та досягнути мінімальної шорсткості (до 1,1 мкм).

1.4. Порошки повинні зберігатися в щільно упакованій тарі для запобігання від насичення вологою та окислення з врахуванням ТУ на кожний конкретний порошок. Перед використанням порошкові матеріали повинні бути просушені.

1.5. В наш час Торезким заводом наплавочних твердих сплавів та НПО “Тулачермет” освоєний випуск практично всієї номенклатури порошкових матеріалів, необхідних народному господарству для напилення покриттів.

2. Матеріали для обезжирення та мийки.

2.1. Хімічні матеріали для приготування розчину для обезжирення приведені в таблиці.

Найменування матеріалів	Позначення стандарта або ТУ
Натрій їдкий технічний	ДСТУ 2263-79
Сода кальцієнована технічна	ДСТУ 5100-85
Тринатрійфосфат	ДСТУ 201- 76
Стікло натрієве рідке	ДСТУ 13078-67

2.2. Вода ,що застосовується для промивки деталей після обезжирення, повинна відповідати по складу солей ДСТУ 2874-82.

2.3. Матеріали, що застосовуються для місцевого обезжирення деталей, а також в одиничному та мілкосерійному виробництвах.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Найменування матеріалів	Позначення стандарту або ТУ
Безин марки "Калоша"	ДСТУ 442-76
Бензин Б-70	ДСТУ 1012-72
Уайт-спирт	
Спирт	ДСТУ 8300-72
Ацетон	ДСТУ 2603-79

3 Матеріали для струменево-абразивної обробки

3.1 Абразивні матеріали

Для виконання струменево-абразивної обробки як абразив зазвичай застосовують електрокорунд марки 14А відповідно до ОСТ 2МТ-71-5-84 із зернистістю 80–100 за ДСТУ 3674-80. Цей матеріал забезпечує ефективне очищення та формування необхідної шорсткості поверхні.

3.2 Металевий абразив

При обробці виробів із твердістю до HRC 50 (оптимально — до HRC 40) доцільно використовувати металеву дріб типів ДЧК і ДСК із розміром частинок 0,3–1,5 мм згідно з ДСТУ 11964-80 (номери 01, 02, 03, 0,5). Такий матеріал забезпечує інтенсивне очищення поверхні та підвищує продуктивність процесу.

3.3 Альтернативні абразиви

Як абразивні матеріали можуть застосовуватися також кварцовий (силікатний) пісок, річковий пісок, плавлений глинозем, карбід кремнію та інші тверді матеріали з кутовою формою частинок і відповідною зернистістю. Використання таких матеріалів залежить від вимог до шорсткості поверхні та економічних чинників.

3.4 Вимоги до стисненого повітря

Стиснене повітря, що використовується для абразивно-струменевої обробки та очищення поверхні перед напиленням, повинно відповідати вимогам

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

ДСТУ 9.010-80. Воно не повинно містити домішок масла та вологи. Клас чистоти повітря має бути не нижче 3 за ДСТУ 17433-80.

4 Робочі гази для плазмового напилення

4.1 Основні види газів

У сучасних плазмових установках як плазмоутворюючі та транспортуючі гази застосовують:

- технічний азот (не менше 99,5 % N₂) за ДСТУ 9293-74;
- аргон високої чистоти за ДСТУ 10157-79 та газові суміші на його основі;
- стиснене повітря за ДСТУ 9010-80, а також його суміші з вуглеводневими газами (пропан-бутан, природний газ).

4.2 Азот

Основною перевагою азоту як плазмоутворюючого газу є його доступність і низька вартість. Разом із тим, для азотної плазми характерна відносно довга дуга, що пов'язано з особливостями іонізації двоатомних газів. Це призводить до підвищеного теплового впливу на деталь і обмежує застосування азоту при обробці внутрішніх поверхонь, особливо невеликого діаметра.

4.3 Аргон і газові суміші на його основі

Аргонова плазма має низку суттєвих переваг порівняно з азотною:

- формування коротшої та стабільнішої дуги;
- вища температура плазми;
- більша швидкість плазмового потоку і частинок матеріалу;
- можливість ефективного нанесення тугоплавких матеріалів (зокрема карбідів) при менших енергетичних витратах;
- доцільність застосування для напилення внутрішніх поверхонь.

Основним обмеженням використання аргону є його висока вартість і обмежена доступність.

4.4 Повітря та газові суміші

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Стиснене повітря та його суміші з вуглеводневими газами широко застосовуються завдяки доступності та низькій вартості. До їх переваг належать:

- економічність і простота використання;
- можливість зменшення окиснення напилюваного матеріалу без застосування складних захисних середовищ;
- можливість регулювання температури плазмового струменя шляхом зміни струму дуги та витрати газу.

Властивості напилюваних матеріалів.

Для раціонального вибору матеріалів для відновлення деталі необхідно розглянути властивості напилюваних матеріалів.

Плазмове напилення може здійснюватися з подачею присадкового матеріалу у вигляді дроту, стрічки або порошку безпосередньо в зону дії стиснутої дуги. Залежно від схеми формування дуги та способу подачі матеріалу розрізняють декілька технологічних варіантів процесу.

Напилення із застосуванням дроту може реалізовуватися:

- при дузі прямої дії, коли розряд горить між неплавким електродом і поверхнею деталі, а присадковий дріт не підключений до джерела струму;
- при дузі непрямої дії, коли електрична дуга існує між електродом і струмопровідним присадковим дротом, а деталь не бере участі в електричному колі;
- за комбінованою схемою, коли одночасно функціонують дві дуги: між плавким електродом і виробом та між неплавким електродом і присадковим матеріалом;
- при дузі прямої дії з додатковим електричним підігрівом

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

присадкового дроту від окремого джерела живлення;
– за плазово-електрошлаковою технологією.

Твердість напиленого покриття є узагальнюючим показником, який суттєво впливає на його зносостійкість. Вона визначається як складом присадкового матеріалу, так і режимами напилення. Зокрема, при використанні сталевих дротів спостерігається зростання твердості покриття зі збільшенням вмісту вуглецю в матеріалі.

Важливим фактором є відстань напилення. Максимальні значення твердості, як правило, досягаються при оптимальних інтервалах: для наплавлення — 10–18 мм, для напилення — 200–300 мм. При зменшенні відстані можливе зниження твердості через перегрів покриття, тоді як її збільшення призводить до зменшення швидкості частинок, зростання пористості та відповідного погіршення властивостей шару.

Адгезійна міцність покриття значною мірою залежить від якості підготовки поверхні. Збільшення шорсткості основи сприяє покращенню механічного зчеплення та підвищенню міцності покриття. Крім того, важливу роль відіграють температура частинок та їх швидкість у момент контакту з поверхнею деталі.

Вплив напилення на втомлювальну міцність деталі є незначним за умови застосування методів підготовки поверхні, які не спричиняють додаткових концентраторів напружень.

Як присадковий матеріал для напилення застосовують сталеві дроти різних марок, зокрема 10, 15, 45, 50, У7, У8, У10, 12Х18Н10Т та інші. Перед використанням дріт очищують від мастильних забруднень (промиванням у розчинниках, наприклад бензині) та від окалини (застосуванням струменево-абразивної обробки).

Для формування зносостійких покриттів використовують спеціалізовані наплавочні дроти, зокрема марок Нп-40, Нп-30ХГСА,

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Нп-30Х13, які забезпечують підвищені механічні та експлуатаційні характеристики покриття.

2.4. Вибір обладнання для відновлення

2.4.1. Конструкція та принцип дії плазматрону .

Плазматрон призначений для нанесення захисних покриттів на поверхні деталей методом плазмового напилення порошкових матеріалів (вольфрам, молібден та ін.) для придання цим поверхням корозійностійких, зносостійких, фрикційних та інших властивостей.

Технічні дані плазматрону наведені в таблиці.

№	Параметри	Значення
1	Максимальний струм (при роботі на азоті),А	400
2	Плазмоутворюючі гази	аргон, гелій, азот та суміші аргону та азоту з водородом
3	Витрати плазмаутворюючого газу, л/хв.	15-100
4	Дисперсність порошків,мкм	10-200
5	Продуктивність напилення покриттів (AL ₂ O ₃), кг/год	1-2
6	Дистанція напилення, мм	120-150
7	Витрати води на охолодження, л/хв	8-10
8	Температура води на виході, град.	до 50

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Устрій та принцип дії плазматрону.

Плазматрон складається з двох ізольованих вузлів-катодного (верхній) 6 та анодного (нижній) 4. Схема плазматрону представлена на рисунку.

Конструкція плазматрону для напилення пальців

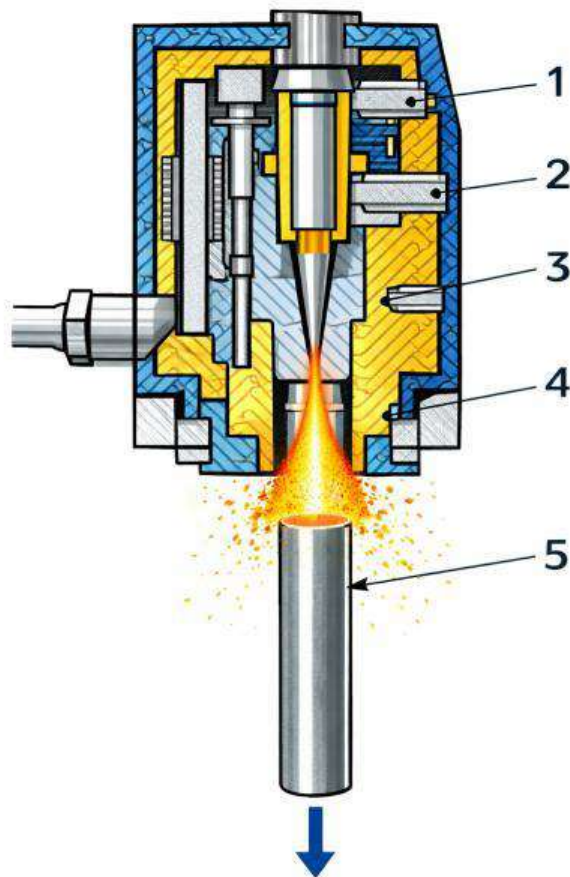


Схема плазматрону.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

В нижньому анодному корпусі встановлено змінне водоохолоджуєме сопло 5 та закріплений струмопідвід 2, який подає воду в плазмотрон.

Сопло плазматрона ущільнюється за допомогою верхньої гумової та нижньої свинцевої прокладок і фіксується в корпусі фланцем, який закріплюється чотирма гвинтами. У конструкції сопла передбачено спеціальний отвір для приєднання штуцера подачі порошкового матеріалу безпосередньо в зону зрізу сопла.

Залежно від умов експлуатації застосовуються різні конструкції сопел: для роботи на сумішах аргону з воднем, для використання азоту та його газових сумішей, а також для напилення дрібнодисперсних порошоків із розміром частинок 5–20 мкм.

У верхню частину плазматрона (катодний корпус) встановлюється змінний електрод, виготовлений із вольфраму. На корпусі також розміщено струмопідвід і канал для відведення охолоджувальної рідини. Герметичність водяної системи охолодження забезпечується застосуванням комбінованих ущільнень (гумових, фторопластових і свинцевих). Ізолятор, верхній і нижній корпуси з'єднуються між собою за допомогою гвинтових з'єднань.

Принцип дії плазматрона

Електрична дуга збуджується між електродом і соплом шляхом пробною міжелектродного проміжку високовольтним імпульсом. Далі дуга підтримується робочим газом, який подається в камеру плазматрона під тиском. Анодна пляма переміщується по внутрішній поверхні каналу сопла, тоді як стовп дуги стабілізується вздовж осі електрода і сопла.

Частина газу, проходячи через дуговий канал, інтенсивно нагрівається та іонізується, утворюючи високотемпературний плазмовий струмінь. Інша частина газу формує периферійний шар, який залишається відносно холодним і виконує функцію тепло- та електроізоляції, запобігаючи руйнуванню сопла.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Щільність струму в зоні дуги може досягати порядку 100 А/мм², а температура плазмового потоку — кількох тисяч градусів.

Процес формування покриття

Порошковий матеріал, попередньо підготовлений до заданого гранулометричного складу, подається через сопло в плазмовий струмінь. У процесі руху частинки нагріваються або повністю розплавляються і з великою швидкістю транспортуються до поверхні деталі.

Завдяки високій кінетичній енергії частинки при ударі деформуються, розплющуються та заповнюють мікронерівності поверхні. При цьому відбувається часткове перетворення кінетичної енергії в теплову, що сприяє формуванню міцного зчеплення як між окремими частинками, так і з основою.

Ефективність нагріву частинок визначається тривалістю їх перебування в плазмовому потоці, що залежить від відстані між соплом і поверхнею виробу, а також від потужності плазмового струменя.

Вплив параметрів процесу

Підвищення потужності плазмового струменя може досягатися використанням двоатомних газів із високим тепловмістом, зокрема азоту або водню. Водень, завдяки високій теплопровідності, збільшує довжину високотемпературної зони факела, що дозволяє ефективніше нагрівати порошок навіть при збільшенні відстані до оброблюваної поверхні. Водночас зі збільшенням цієї відстані зменшується швидкість частинок.

Збільшення струму дуги також підвищує потужність плазматрона, однак обмежується термічною стійкістю анода. Інтенсивна ерозія сопла може призводити як до його руйнування, так і до забруднення напилюваного матеріалу.

Для зниження теплового навантаження на сопло водень зазвичай використовують у суміші з аргоном. Така комбінація забезпечує ефективну

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

теплову ізоляцію дугового стовпа від стінок сопла та підвищує стабільність процесу напилення.

2.4.2. Параметри плазматрону.

Геометричні параметри:

- Радіус сопла плазматрону, R_0 , мм.
- Довжина каналу анода до точки вводу порошку в струмінь плазми, $l_{вн}$, мм.

Електричні параметри:

- Напруга між катодом та анодом плазматрона, U_d , В.
- Сила струму дуги, I , А.

Технологічні параметри:

- Кут розкриття струменю двофазного потоку β , град.
- Вид плазмоутворюючого газу.
- Тиск газу, P_r , атм.
- Витрати плазмоутворюючого газу V_r , л/хв.
- Швидкість переміщення плазматрону $W_{пл}$, мм/с.
- Дистанція напилення, L , мм.
- Тип порошку.
- Грануляція порошку, мкм.
- Витрати порошку $G_{п}$, кг/год.
- Умовний радіус розсіювання напилюваних часток r_0 , мм.
- Коефіцієнт використання матеріалу КВМ.
- Коефіцієнт корисної дії плазматрону, ККД.

2.4.3. Джерела живлення і спеціальні устаткування.

Для живлення плазмотронів електричною енергією використовуються джерела постійного, змінного (одно- і трифазного) та імпульсного струму.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Найбільшого поширення у сучасних плазмових технологіях набули джерела живлення постійного струму, які забезпечують стабільне горіння дуги та точне підтримання параметрів технологічного процесу. За формою зовнішньої вольт-амперної характеристики такі джерела поділяються на жорсткі (при зміні струму напруга залишається практично сталою) та з крутоспадною характеристикою.

У плазмових процесах переважно застосовують джерела з крутоспадною характеристикою, оскільки вони забезпечують стабілізацію дуги. У ряді випадків, поряд зі спеціалізованими установками, використовуються стандартні джерела живлення, призначені для дугового зварювання.

Джерела живлення для плазмової обробки можна класифікувати за принципом регулювання:

- з дроселями насичення;
- на керованих напівпровідникових приладах;
- параметричні.

Найбільш поширеними в промисловості є джерела з дроселями насичення, що пояснюється їх конструктивною простотою, надійністю та широким діапазоном регулювання. До таких належать, зокрема, джерела типу ІПР-120/600, які використовуються в установках ОПР-6 для ручного та механізованого різання металів у середовищі азоту або суміші аргону з воднем; ІПГ-500, що входить до складу установок УГЕР-300 і УГЕР-500 для різання металів товщиною до 30–150 мм; а також ВПР-402, який застосовується в обладнанні АПР-401 для повітряно-плазмового різання.

До джерел живлення на керованих приладах належать установки типу ІПН-160/600, які використовуються в обладнанні для плазмового напилення та металізації (УПУ-3, УПУ-3М). У цих системах регулювання здійснюється, зокрема, шляхом переміщення магнітних шунтів. Найбільшого поширення набули тиристорні джерела живлення, у яких

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

зміна кута відкривання тиристорів дозволяє регулювати середні значення випрямлених струму та напруги. Такі джерела застосовуються в установках типу АПР-402, УПР-201, УПР-301.

Параметричні джерела живлення працюють на основі стабілізації струму дуги за допомогою потужних транзисторів. Вони забезпечують струм у межах 30–100 А та напругу холостого ходу близько 40 В і використовуються, зокрема, в установках АП-4, АП-5 для плазмового та мікроплазмового зварювання.

Сучасна промисловість пропонує широкий спектр установок для плазмового напилення. Так, установка УМП-6 забезпечує продуктивність до 4,5 кг/год при напиленні керамічних порошків і до 7 кг/год — для твердих сплавів. У якості робочих газів застосовують азот, аргон, гелій, водень або їх суміші.

Універсальна установка УПУ-3 призначена для напилення порошкових матеріалів і дроту. Її продуктивність становить приблизно: для кераміки — до 2 кг/год, для твердих сплавів — до 3,5 кг/год, для дроту — 4–10 кг/год. Робочими газами є аргон і водень.

Установка АПР-403 дозволяє наносити покриття як порошковими, так і дротяними матеріалами з продуктивністю до 15 кг/год. Як плазмоутворюючі гази використовують повітря, природний газ, вуглекислий газ або азот.

Окрім серійного обладнання, розроблено спеціалізовані установки, зокрема типів «Термосив» і «Моноліт», призначені для нанесення покриттів на деталі, чутливі до теплового впливу плазми. Також застосовуються багатодугові системи (з трьома–чотирма плазмотронами), що забезпечують продуктивність напилення до 35 кг/год.

Конструкція установки для плазмового напилення шарових пальців

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

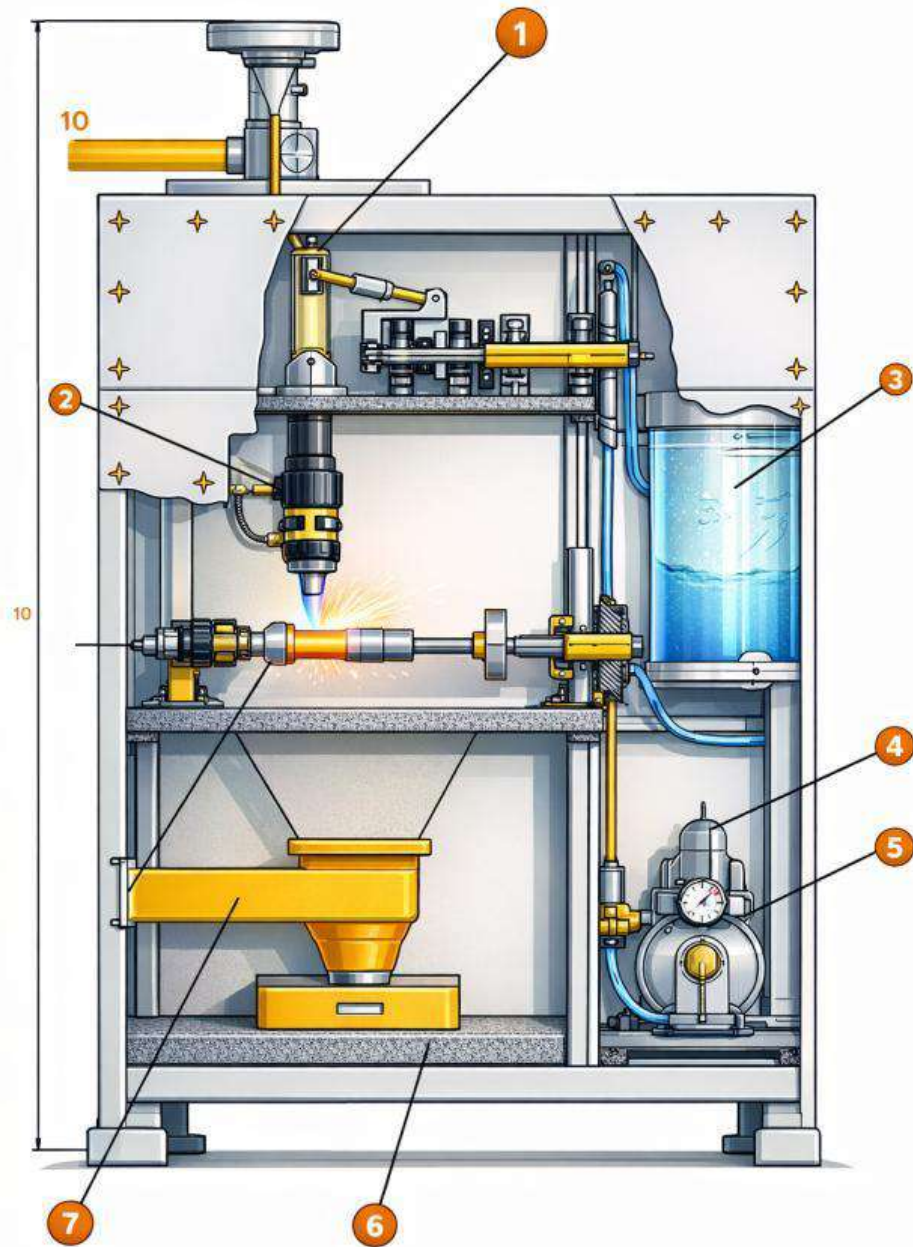
Установка виконана у вигляді камери, всередині якої змонтовані механізми обертання деталі та переміщення плазматрона. Оброблювана деталь (вал або палець) закріплюється у кулачкових патронах із самоустановними центрами.

Обертання ведучого центру здійснюється від електродвигуна через черв'ячний редуктор і клинопасову передачу, після чого передається на деталь. Це забезпечує рівномірне обертання під час напилення.

Оскільки розподіл частинок порошку в плазмовому струмені є нерівномірним і залежить від режиму процесу, у конструкції механізму переміщення плазматрона передбачено зміну швидкості його руху вздовж оброблюваної поверхні. Зворотно-поступальний рух плазматрона реалізується таким чином, що максимальна швидкість досягається при проходженні осі сопла через центральну частину поверхні деталі.

Це забезпечується застосуванням кулачкового механізму торцевого типу, який формує необхідний закон руху плазматрона та сприяє рівномірності нанесення покриття.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



По мірі наближення до галтелі швидкість переміщення плазматрона зменшується до нуля, а при зворотньому русі знову забезпечується прискорене переміщення плазматрона до середини шийки. Привід кулачка здійснюється від шкива обертання деталі через клинопасову передачу з передаточним співвідношенням 1:3, що забезпечує 33 подвійних коливання за хвилину. Плазматрон закріплюється в розрізній втулці нижнього кінця

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ

Арк.

55

важільного механізму. Верхній кінець важілю має регулювальний гвинт 1, який дозволяє вимірювати співвідношення довжини плечей, тим самим забезпечує регулювання амплитуди коливань плазматрона, а відповідно і плазмового струменю.

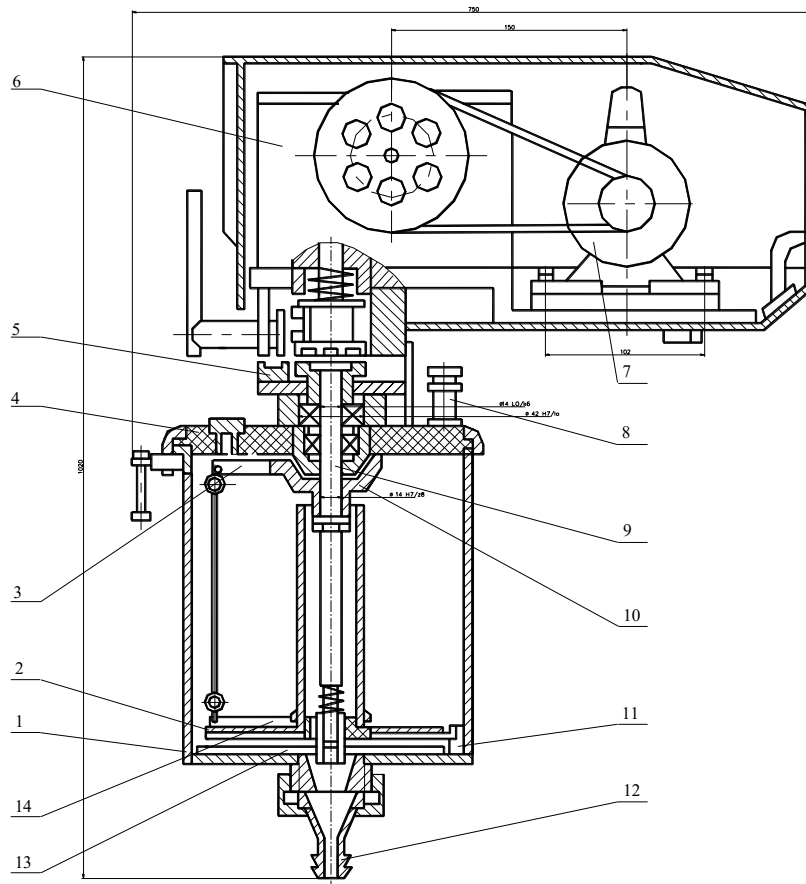
Для спостережень за процесом нанесення покриттів передбачена захистна заслінка 3. Порошок для напилення потрапляє із дозатора 12. Для збору частинок передбачений уловлювач 7 порошка з висувним ящиком 6, в якому концентруються крупні частинки. Дрібні частинки виносяться в систему вентиляції і пилоуловлювання.

Конструкція дозатора порошка для установки плазмового напилення.

Дозатор порошку установки складається з таких основних вузлів: бачка, механізму переміщення порошку, системи транспортуваного газу, привода з кулачкову муфтою.

Дозатор виконаний у вигляді циліндричного бачка місткістю 5 л. Кришка дозатора виготовлена з оргскла для перевірки наявності порошка у бачку. Дозатор має запобіжний клапан, який відкривається при збільшенні тиску в бачку більш ніж 39,9 кПа. Подача газу, транспортуючого порошок до пальника, здійснюється через штуцер корпусу клапана. Прийом і вихід потоку газопорошкової суміші (транспортуваного газу з порошком) здійснюється через воронку в днищі дозатора. В бачку дозатора розташовано з'ємне днище з привареною до нього центральною трубкою, яка перекриває доступ порошку до зазорів рухомих деталей і безпосередньо в приймальну воронку.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

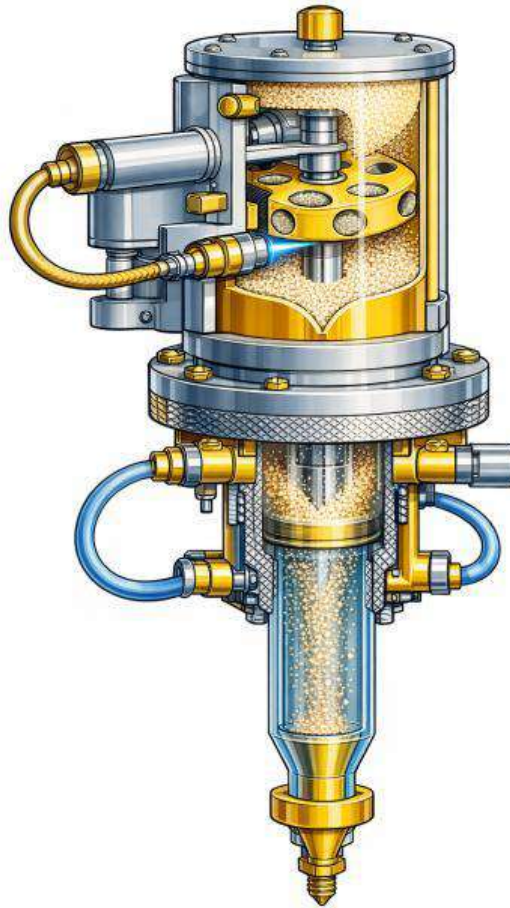


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ

Арк.

57



Підвіска дозатора забезпечує постійне місцезнаходження верхніх трьох лопаток на поверхні порошка, який знаходиться в бачку: вона постійно опускає лопатки по мірі зниження рівня порошку і повертає їх на поверхню після того, як бачок знову загрузять порошком зверху лопаток, які знаходяться в нижньому положенні. Лопатки переміщують порошок по колу і одночасно відгрібають його в напрямку від центру до периферії, де висипаючись за край з'ємного днища (диска) він потрапляє в зону нижньої порожнини, в якій знаходиться нижній блок (шнек). Він прекріплений до ступеці кінця валика шарнірно, що дозволяє блоку лопаток вільно "пливти".

Транспортуючий газ (азот або інший), потрапляючи через пульт керування і корпус клапана в бачок, попадає в центральну трубу і створює

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

газопорошкову суміш в воронці, звідки через нипель воронки і по трубі направляється до пальника.

Привод дозатора служить для обертання вала, на якому закріплені верхній і нижній блоки лопаток.

Вал обертається з заданою швидкістю, яку вибирають в залежності від рода порошку і витрат, які він потребує.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

3. Технологічний процес відновлення та підвищення зносостійкості шарового пальця

Технологічний процес напилення деталей складається із послідовного виконання наступних операцій: миття та очищення деталі, підготовка поверхні деталей до нарощування, сам процес напилення, механічна обробка після нарощування, хіміко-термічна обробка вала, доводка та технічний контроль покриття.

Миття та очищення деталі.

Перед попередньою обробкою поверхні слід здійснити промивання і наскільки це можливо видалити вологу, мастило й інші забруднення, а також оксидні плівки.

Існують різні методи видалення забруднені поверхонь деталей. Найбільш розповсюдженим являється миття розчинниками і лужними розчинами.

Очищення первинного вала коробки передач проводять наступним чином:

- за допомогою машин для миття, в якості розчинника використовують лабомід 203 ДСТУ 9403-80 концентрацією 15...20 хв;
- при обробці розпиленням в якості розчинника використовують лабомід 101, 102 ДСТУ 9402-80 конйентрацією 5...15 кг/м³ з температурою 50...70 °С, час очищення 1...5 хвилин;
- при використанні їдкого натру ДСТУ 2263-79 (каустичної води): концентрація 50 г/л, температура 80...90 °С, дворазове промивання гарячою і холодною водою.

Після знежирення проводять промивання водою з відповідним вмістом солей ДСТУ 2874-82.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Сушіння деталей після миття проводять в сушильних шафах при температурі 60...150 °С або обдуванням стиснутим повітрям ДСТУ 17433-80.

Підготовка деталі під напилення.

Попередня механічна обробка застосовується при відновленні для усунення дефектів на деталях, які з'явилися в результаті їх експлуатації, або для надання правильної геометрії зношеної деталі, а також для зняття твердого зміцненого або термообробленого шару з метою кращого з'єднання поверхні з наплавленим матеріалом.

Для усунення цих дефектів, надання робочій поверхні правильної форми і зняття цементованого твердого шару вала використаємо шліфування.

Припуск на попереднє шліфування приймаємо рівним $h=0,7...1,0$ мм, що трохи більше товщини цементованого шару. Розрахунок режимів проводимо як для чорнового шліфування. При цьому отримаємо шорсткість поверхні $Ra = 6,3...12$ мкм.

Напилення.

Покриття деталей сталлю звичайно проводять на режимах: відстань від сопла до поверхні деталі 250...350 мм, тиск стисненого газу 0,6 МПа, струм в ланцюгу електрод - сопло 200...220 А, робоча напруга 270...380 В, швидкість наплавки 4 - 5 м/хв, витрати плазмостворюючої газової суміші, повітря з пропан-бутаном, 4,2...15,0 м³/год, витрати проволочи 8...12 кг/год. коефіцієнт використання матеріалу КВМ = 60...80 %.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця

Режими плазменно-дугового напилення деталей

Матеріал деталі	Сталь
Наплавлюємий матеріал	Сталь
Кутова швидкість 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	0,5...4

Механічна обробка після нанесення покриттів

Покриття зі самофлюсуючих сплавів характеризуються високою об'ємною твердістю (HRC 58–63), а мікротвердість окремих структурних складових (карбідів, боридів, карбоборидів) може досягати 4000 кгс/мм². У зв'язку з цим їх механічна обробка потребує застосування інструментів підвищеної зносостійкості.

Найбільш доцільним є використання алмазного інструменту. Застосування традиційних абразивних кругів є малоефективним через низьку продуктивність, необхідність частого правлення інструменту та складність досягнення заданої шорсткості поверхні.

Попередню обробку рекомендується виконувати алмазними кругами на металевих зв'язках (МО16, МО13, МВ1) з використанням алмазів типу АСКМ, АСК, АСВ зернистістю 200/160–250/200. Це забезпечує отримання шорсткості поверхні в межах Ra = 0,16–0,3 мкм при мінімальній витраті алмазного інструменту.

Рекомендовані		режими		обробки:
–	швидкість	круга:	35–50	м/с;
–	швидкість	деталі:	25–35	м/хв;

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- поздовжня подача: близько 1 м/хв;
- глибина різання: 0,08–0,15 мм/хід, на фінішних проходах — 0,01–0,03 мм/хід.

Охолодження здійснюється із застосуванням 35%-го водного розчину емульсола.

Фінішну обробку доцільно виконувати торцем чашкових алмазних кругів, еластичними брусками або нескінченними алмазними стрічками із застосуванням 20%-го розчину емульсола. Для цього використовують алмазні круги на органічних зв'язках (типів БІ, БР) із зернистістю 28/20–125/100.

Мінімальна шорсткість поверхні ($R_a = 0,04–0,02$ мкм) досягається при поздовжній подачі менше 0,27 мм/об та притискному зусиллі 3–6 кгс.

Полірування виконують алмазними стрічками або еластичними брусками на основі каучуковмісних зв'язок. Для цього застосовують суперкінішні головки (наприклад, типу СФГ-100), встановлені на токарних верстатах, з амплітудою коливань близько 3 мм та частотою до 1400 подвійних ходів за хвилину. Як мастильно-охолоджувальну рідину використовують суміш гасу, веретенного масла та олеїнової кислоти.

Режими різання для обробки напилених покриттів

Попередню обробку виконують різцями з твердосплавними пластинами (ВК2, ВК3) при таких режимах:

- швидкість різання: 22–28,5 м/хв;
- подача: 0,15–0,2 мм/об;
- глибина різання: близько 0,2 мм.

Чистову обробку здійснюють:

- мінералокерамічним інструментом (ВОК-60):
 $V \approx 65$ м/хв; $S \approx 0,1$ мм/об; $t = 0,075–0,1$ мм;
- інструментом із надтвердих матеріалів (СТМ):
 $V = 90–120$ м/хв; $S = 0,075–0,1$ мм/об; $t = 0,1–0,2$ мм.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після напилення покриття піддають точінню або шліфуванню для досягнення заданих розмірів і якості поверхні. Мінімальна товщина покриття після обробки повинна становити не менше 1 мм для деталей діаметром понад 25 мм.

При плазмовому напиленні припуск на обробку становить 0,03–0,06 мм, а при плазмовому напавленні — 0,4–0,9 мм (максимально до 1,5–2 мм на сторону).

Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічна обробка полягає у зміні хімічного складу поверхневих шарів сталі з метою підвищення їх твердості або корозійної стійкості. До основних методів належать цементация, азотування, ціанування та хромування.

Цементация — це процес насичення поверхневого шару вуглецем при підвищених температурах (понад 910 °С). Як джерела вуглецю використовують тверді, рідкі або газоподібні карбюратори. Газова цементация здійснюється у спеціальних печах із застосуванням газових сумішей (СН₄, СО та ін.).

Після цементации деталі піддають гартуванню (зазвичай при температурі близько 760 °С). У деяких випадках застосовують подвійне гартування для покращення структури серцевини та поверхневого шару.

Технічний контроль покриттів

Контроль якості здійснюється на всіх етапах: підготовки поверхні, нанесення покриття та завершальної обробки.

- Основними показниками якості є:
- структура покриття (дрібнозерниста, однорідна);
 - міцність зчеплення з основою;
 - товщина шару;
 - шорсткість поверхні.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Контроль проводять шляхом вимірювання розмірів до і після напилення, візуального огляду (у тому числі з використанням лупи), а також перевірки адгезії (наприклад, методом простукування).

Пористість і зносостійкість

Напилені покриття характеризуються невеликою пористістю (приблизно 0,8–1,4 %), яка може бути як замкненою, так і наскрізною. Пористість впливає на механічні та теплофізичні властивості матеріалу: міцність, пружність, теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення.

Термічна обробка сприяє ущільненню структури покриття та частковому усуненню пор.

Зносостійкість покриттів визначається їх мікроструктурою, шорсткістю та умовами формування. Вона зростає зі збільшенням відстані напилення (до оптимальних значень 75–100 мм), тиску газу (до 5–6 атм) та вмісту вуглецю в матеріалі. Водночас надмірне збільшення відстані, струму або температури призводить до погіршення властивостей покриття.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи, присвяченої розробці технології відновлення та підвищення зносостійкості шарового пальця методом плазмового напилення, отримано такі основні висновки:

1. Проведений аналіз умов роботи шарового пальця показав, що основними причинами його зношування є інтенсивні контактні навантаження, мікропроковзування, недостатня зносостійкість матеріалу та розвиток фретинг-корозії. Встановлено, що традиційні матеріали та конструктивні рішення не забезпечують необхідної довговічності вузла без застосування методів поверхневого зміцнення.
2. Порівняльний аналіз сучасних методів відновлення деталей (наплавлення, газополуменеве та плазмове напилення) показав, що найбільш ефективним для відновлення шарових пальців є плазмове напилення, яке забезпечує високу адгезійну міцність покриття, можливість використання широкого спектра матеріалів і мінімальний тепловий вплив на основу.
3. Розроблено технологічний процес відновлення шарового пальця, який включає підготовку поверхні, плазмове напилення з оптимальними режимами та подальшу механічну обробку. Визначено раціональні параметри процесу, що забезпечують формування покриття з низькою пористістю, високою твердістю та необхідною шорсткістю поверхні.
4. Встановлено, що застосування плазмового напилення дозволяє підвищити зносостійкість шарового пальця у кілька разів порівняно з базовим матеріалом, що забезпечує збільшення ресурсу деталі, зниження витрат на ремонт та підвищення надійності роботи підвіски автомобіля в цілому.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Література

1. Pawlowski, L. (2008). The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings (2nd ed.). John Wiley & Sons.
2. Davis, J. R. (Ed.). (2004). Handbook of Thermal Spray Technology. ASM International.
3. Fauchais, P., Heberlein, J., & Boulos, M. (2014). Thermal Spray Fundamentals: From Powder to Part. Springer.
4. Stachowiak, G. W., & Batchelor, A. W. (2014). Engineering Tribology (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
5. Hutchings, I. M., & Shipway, P. (2017). Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
6. Totten, G. E. (Ed.). (2003). Surface Engineering and Heat Treatment of Automotive Components. ASM International.
7. Holmberg, K., & Matthews, A. (2009). Coatings Tribology. Elsevier.
8. Кіндрачук, М. В., Лабунець, В. Ф., Пашечко, М. І., & Корбут, Є. В. (2009). Трибологія. Київ: НАУ.
9. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до технічного стану та методи контролювання.
10. Білоус, О. І., & Кравченко, В. І. (2016). Ремонт автомобілів. Київ: Вища школа.

					КРБМТВА 26.22089.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67